

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2023 年 1 月 12 日 (12.01.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/280310 A1

- (51) 国际专利分类号:
A61B 34/30 (2016.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2022/104671
- (22) 国际申请日: 2022 年 7 月 8 日 (08.07.2022)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202110778767.7 2021年7月9日 (09.07.2021) CN
202110777345.8 2021年7月9日 (09.07.2021) CN
202110778776.6 2021年7月9日 (09.07.2021) CN

(71) 申请人: 武汉联影智融医疗科技有限公司(WUHAN UNITED IMAGING HEALTHCARE SURGICAL TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国湖北省武汉市东湖新技术开发区高科园路99号联影医疗武汉总部基地A区, Hubei 430073 (CN)。

(72) 发明人: 曾致贤(ZENG, Zhixian); 中国湖北省武汉市东湖新技术开发区高科园路99号联影医疗武汉总部基地A区, Hubei 430073 (CN)。 陈龙(CHEN, Long); 中国湖北省武汉市东湖新技术开发区高科园路99号联影医疗武汉总部基地A区, Hubei 430073 (CN)。 王选(WANG, Xuan); 中国湖北省武汉市东湖新技术开发区高科园路99号联影医疗武汉总部基地A区, Hubei 430073 (CN)。 刘强(LIU, Qiang); 中国湖北省武汉市东湖新技术开发区高科园路99号联影医疗武汉总部基地A区, Hubei 430073 (CN)。 罗彩连(LUO, Cailian); 中国湖北省武汉市东湖新技术开发区高科园路99号联影医疗武汉总部基地A区, Hubei 430073 (CN)。 马波琪(MA, Boqi); 中国上海市嘉定区汇源路55号4幢3层A区302室, Shanghai 201807 (CN)。 杨帆(YANG, Fan); 中国湖北省武汉市东湖新技术开发区高科园路99号联影医疗武汉总部基地A区, Hubei 430073 (CN)。 陈超民(CHEN, Chaomin); 中国湖北省武

(54) Title: SURGICAL ROBOT AND CONTROL METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 一种手术机器人及其控制方法

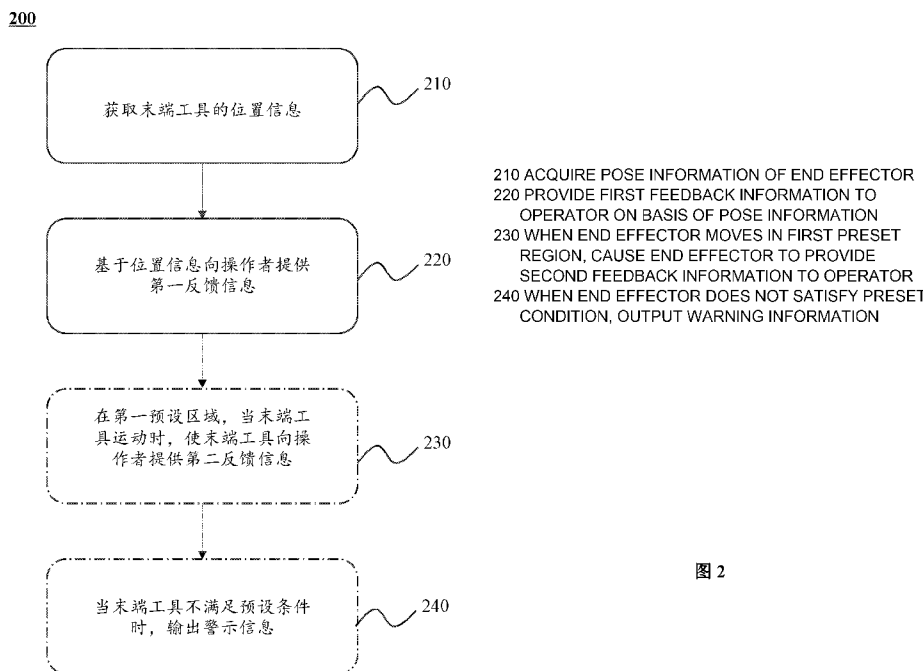


图 2

(57) Abstract: A surgical robot (100) and a control method therefor. The method comprises: acquiring pose information of an end effector; and providing first feedback information to an operator on the basis of the pose information.

(57) 摘要: 一种手术机器人 (100) 及其控制方法, 该方法包括: 获取末端工具的位姿信息; 基于该位姿信息向操作者提供第一反馈信息。



WO 2023/280310 A1

汉市东湖新技术开发区高科园路99号联影医疗武汉总部基地A区, Hubei 430073 (CN)。谢强 (XIE, Qiang); 中国上海市嘉定区汇源路55号4幢3层A区302室, Shanghai 201807 (CN)。

(74) 代理人: 成都七星天知识产权代理有限公司 (METIS IP (CHENGDU) LLC); 中国四川省成都市中国 (四川) 自由贸易试验区天府新区湖畔路北段269号1栋1单元4层401号, Sichuan 610213 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

一种手术机器人及其控制方法

交叉引用

[0001] 本申请要求于2021年7月9日提交的申请号为202110778767.7的专利申请的优先权，于2021年7月9日提交的申请号为202110777345.8的专利申请的优先权，于2021年7月9日日提交的申请号为202110778776.6的专利申请的优先权，其内容通过引用的方式并入本文。

技术领域

[0002] 本申请涉及医疗设备技术领域，特别涉及一种手术机器人及其控制方法。

背景技术

[0003] 引导型机器人是以操作者为主执行手术操作的机器人，这种机器人提升了操作者的参与度，能够有效降低发生意外的概率，提升手术的成功率。而在手术过程中，操作者对于引导型机器人的末端工具的位姿信息的掌握情况及控制程度很大程度上影响了手术的成功率。因此，本申请提出一种能够使操作者及时准确地掌握末端工具的位姿信息的手术机器人及其控制方法。

发明内容

[0004] 本说明书实施例一方面提供一种手术机器人控制方法，包括：获取末端工具的位姿信息；基于所述位姿信息向操作者提供第一反馈信息。

[0005] 本说明书实施例另一方面提供一种手术机器人，包括：机械臂装置，用于控制末端工具运动；定位装置，用于获取所述末端工具的第一位姿信息以及对象的第二位姿信息；处理器，被配置为：获取末端工具的第一位姿信息；基于所述第一位姿信息向操作者提供第一反馈信息。

[0006] 本说明书实施例另一方面提供一种末端工具运动引导方法，包括：检测末端工具的当前位置，若末端工具的当前位置未在约束空间的预设路径上，则确定所述末端工具的当前位置对应的子约束空间以及该子约束空间对应的距离刚度函数，其中，所述约束空间的中心轴为所述末端工具的预设路径，所述约束空间包括嵌套在一起的至少两个子约束空间；根据所述当前位置以及所述当前位置对应的距离刚度函数，向所述末端工具输出朝向所述预设路径的第一反馈力。

[0007] 本说明书实施例另一方面提供一种手术机器人，包括：机械臂装置，用于在外力作用下带动末端工具运动，以及向所述末端工具输出反馈力；定位装置，用于获取末端工具在约束空间中的当前位置，所述约束空间的中心轴为所述末端工具的预设路径，所述约束空间包括嵌套在一起的至少两个子约束空间；处理器，用于通过所述定位装置检测末端工具的当前位置，若所述末端工具的当前位置未在所述约束空间的预设路径上，确定所述末端工具的当前位置对应的子约束空间以及该子约束空间对应的距离刚度函数；根据所述当前位置以及所述当前位置对应的距离刚度函数，通过所述机械臂向所述末端工具输出朝向所述预设路径的第一反馈力。

[0008] 本说明书实施例另一方面提供一种末端工具位姿的实时修正方法，包括：获取末端工具与参考坐标系的第一位姿对应关系，以及所述末端工具与所述对象的第二位姿对应关系；检测到所述对象的位姿发生变化时，获取对象位姿偏移量，其中，所述对象的位姿偏移量为所述对象的当前位姿相对于所述对象的初始位姿的偏移量；根据所述第一位姿对应关系和所述对象位姿偏移量控制所述末端工具运动，使所述末端工具与所述对象的位姿对应关系恢复至所述第二位姿对应关系。

[0009] 本说明书实施例另一方面提供一种手术机器人，包括：第一姿态获取装置，设置于对象上并与对象保持固定的对应关系，用于获取所述对象的位姿；第二姿态获取装置，设置于用于携带末端工具运动的机械臂或末端工具上，用于获取所述末端工具的位姿；控制器，用于获取末端工具与参考坐标系的第一位姿对应关系，以及所述末端工具与所述对象的第二位姿对应关系；在检测到所述对象的位姿发生变化时，获取对象位姿偏移量；根据所述第一位姿对应关系和所述对象位姿偏移量控制所述末端工具运动，使所述末端工具与所述对象的位姿对应关系恢复至所述第二位姿对应关系。

[0010] 本说明书实施例另一方面提供一种自动调整髌臼杯位姿的方法，包括：S1、控制髌臼杯从当前位置向预设打杯处运动，并实时检测位姿调整信号，以及在检测到位姿调整信号时，获取所述

髌臼杯的当前位姿信息与对象的髌臼窝的当前位姿信息，所述预设打杯处位于所述髌臼窝中；S2、根据所述髌臼杯的当前位姿信息和所述髌臼窝的当前位姿信息调整所述髌臼杯的位姿，以使所述髌臼杯的中心轴与所述髌臼窝的中心轴重合；S3、如果位姿调整后的髌臼杯未处于所述预设打杯处，则重复执行上述S1和S2。

[0011] 本说明书实施例另一方面提供一种手术机器人，包括：运动模块，包括机械臂，用于带动髌臼杯运动；位姿获取模块，包括髌臼杯位姿单元和髌臼窝位姿单元，用于通过所述髌臼杯位姿单元实时获取髌臼杯的当前位姿信息以及通过所述髌臼窝位姿单元实时获取对象的髌臼窝的当前位姿信息；控制器，用于根据所述髌臼杯的当前位姿信息和所述髌臼窝的当前位姿信息，调整所述髌臼杯的位姿，以使所述髌臼杯的中心轴与所述髌臼窝的中心轴重合。

附图说明

[0012] 本申请将以示例性实施例的方式进一步说明，这些示例性实施例将通过附图进行详细描述。这些实施例并非限制性的，在这些实施例中，相同的编号表示相同的结构，其中：

- [0013] 图1是根据本说明书一些实施例所示的手术机器人的示例性模块结构示意图；
- [0014] 图2是根据本说明书一些实施例所示的手术机器人控制方法的示例性流程图；
- [0015] 图3是根据本说明书一些实施例所示的第一预设区域的示例性结构图；
- [0016] 图4是根据本说明书一些实施例所示的第二预设区域的示例性结构图；
- [0017] 图5是根据本说明书一些实施例所示的施加第一反馈力的示例性流程图；
- [0018] 图6是根据本说明书一些实施例所示的距离刚度函数的示例性图像示意图；
- [0019] 图7是根据本说明书一些实施例所示的施加第一反馈力矩的示例性流程图；
- [0020] 图8是根据本说明书一些实施例所示的角度刚度函数的示例性图像示意图；
- [0021] 图9是根据本说明书一些实施例所示的施加第二反馈力的示例性流程图；
- [0022] 图10是根据本说明书一些实施例所示的阻尼函数的示例性图像示意图；
- [0023] 图11是根据本说明书一些实施例所示的施加第二反馈力矩的示例性流程图；
- [0024] 图12是根据本说明书一些实施例所示的主动调整末端工具位姿的示例性流程图；
- [0025] 图13是根据本说明书一些实施例所示的确定对象位姿偏移量的示例性流程图；
- [0026] 图14是根据本说明书一些实施例所示的确定末端工具目标位姿偏移量的示例性流程图；
- [0027] 图15是根据本说明书一些实施例所示的校准髌臼杯的示例性流程图；
- [0028] 图16~图19是根据本说明书一些实施例所示的髌臼杯的不同位姿示意图；
- [0029] 图20是根据本说明书一些实施例所示的手术机器人在关节磨锉阶段的示例性结构示意图；
- [0030] 图21是根据本说明书一些实施例所示的末端工具运动引导方法的示例性流程图；
- [0031] 图22是根据本说明书一些实施例所示的末端工具位姿实时修正方法的示例性流程图；
- [0032] 图23是根据本说明书一些实施例所示的手术机器人的另一示例性模块结构示意图；
- [0033] 图24是根据本说明书一些实施例所示的自动调整髌臼杯位姿方法的示例性流程图；
- [0034] 图25是根据本说明书一些实施例所示的手术机器人的另一示例性模块结构示意图。

具体实施方式

[0035] 为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单的介绍。显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些示例或实施例，对于本领域的普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图将本申请应用于其它类似情景。除非从语言环境中显而易见或另做说明，图中相同标号代表相同结构或操作。

[0036] 应当理解，本文使用的“系统”、“装置”、“单元”和/或“模组”是用于区分不同级别的不同组件、元件、部件、部分或装配的一种方法。然而，如果其他词语可实现相同的目的，则可通过其他表达来替换所述词语。

[0037] 如本申请和权利要求书所示，除非上下文明确提示例外情形，“一”、“一个”、“一种”和/或“该”等词并非特指单数，也可包括复数。一般说来，术语“包括”与“包含”仅提示包括已明确标识的步骤和元素，而这些步骤和元素不构成一个排它性的罗列，方法或者设备也可能包含其它的步骤或元素。

[0038] 本申请中使用了流程图用来说明根据本申请的实施例的系统所执行的操作。应当理解的是，前面或后面操作不一定按照顺序来精确地执行。相反，可以按照倒序或同时处理各个步骤。同时，

也可以将其他操作添加到这些过程中，或从这些过程移除某一步或数步操作。

[0039] 本说明书实施例中提供了一种手术机器人，其主要用于进行医疗手术例如骨科手术等。在一些实施例中，手术机器人主要包括机械臂装置、定位装置以及处理器，其中机械臂装置可以用于控制末端工具运动。

[0040] 在一些实施例中，定位装置可以获取末端工具的位姿信息。在一些实施例中，处理器可以基于末端工具的位姿信息向操作者提供第一反馈信息。操作者可以通过第一反馈信息及时了解末端工具的当前位置，从而提升对末端工具的控制精度，提升手术的成功率。

[0041] 在一些实施例中，定位装置还可以获取手术操作的对象的位姿信息。在一些实施例中，处理器可以基于末端工具的位姿信息和对象的位姿信息控制末端器械主动跟随对象运动。在一些实施例中，处理器可以基于末端工具的位姿信息和对象的位姿信息主动调整末端工具相对于对象的位姿关系，以满足手术的要求。

[0042] 本说明书实施例中还提供一种手术机器人控制方法，该控制方法可以用于控制上述的手术机器人。

[0043] 参见图 1，图 1 是根据本说明书一些实施例所示的手术机器人的示例性模块结构示意图。在一些实施例中，手术机器人 100 主要包括机械臂装置 110、定位装置 120、以及处理器 130。

[0044] 在一些实施例中，机械臂装置 110 可以用于带动末端工具运动。在一些实施例中，机械臂装置 110 还可以向末端工具输出设定的反馈力。机械臂装置 110 的更多内容可以参照图 20 及相关描述，在此不再赘述。

[0045] 在一些实施例中，定位装置 120（也称为导航装置）可以用于获取预设目标的位姿信息。在一些实施例中，预设目标可以包括末端工具、手术操作的对象或其他标记物等。在一些实施例中，定位装置 120 可以用于获取末端工具的第一位姿信息与对象的第二位姿信息。定位装置 120 可以包括但不限于光学原理定位装置、声学原理定位装置、电磁定位器、GPS 定位器、陀螺仪、加速度传感器等。定位装置 120 的更多内容可以参照图 20 及其相关描述，在此不再赘述。

[0046] 处理器 130 可以分别与定位装置 120 及机械臂装置 110 数据互通。在一些实施例中，处理器 130 可以通过定位装置 120 获取末端工具的位姿信息，并基于该位姿信息控制机械臂装置 110 向操作者提供第一反馈信息。在一些实施例中，处理器 130 可以控制机械臂装置 110 的运动从而控制机械臂装置 110 及末端工具的位姿。在一些实施例中，处理器 130 可以包括中央处理单元(CPU)、数字信号处理器(DSP)、系统芯片(SoC)、微处理器(MCU)等，或其任意组合。在一些实施例中，处理器 130 可以是本地的或远程的。例如，处理器 130 可以通过网络访问存储在机械臂装置 110 或手术机器人 100 的其他部件（例如定位装置 120）中的信息和/或数据。再例如，处理器 130 可以直接与机械臂装置 110 连接，以便访问存储在其中的信息和/或数据。在一些实施例中，处理器 130 可以在云平台上实现。仅作为示例，所述云平台可以包括私有云、公共云、混合云、社区云、分布式云、跨云、多云等，或其任何组合。

[0047] 参见图 2，图 2 是根据本说明书一些实施例所示的手术机器人控制方法的示例性流程图。如图 2 所示，流程 200 包括下述步骤。在一些实施例中，流程 200 可以由手术机器人 100 执行。下面呈现的流程 200 的操作意图是说明性的。在一些实施例中，可以利用一个或以上未描述的附加操作和/或未讨论的一个或以上操作来完成该流程。

[0048] 步骤 210、获取末端工具的位姿信息。在一些实施例中，步骤 210 可以由处理器 130 执行。

[0049] 在一些实施例中，末端工具可以是指位于机械臂装置 110 末端的用于手术的操作器具或治疗材料等。示例性的，在骨科手术中，末端工具可以是用于清理患处的锉刀，也可以是用于替换病变体的假体。在一些实施例中，手术机器人 100 可以用于髋关节手术中，末端工具可以是髋臼锉或髋臼杯。

[0050] 在一些实施例中，位姿信息可以包括位置和姿态等信息。在一些实施例中，末端工具的位姿信息可以包括末端工具的当前位置。在一些实施例中，末端工具的当前位置可以是末端工具在第一预设区域中的位置。在一些实施例中，末端工具的当前位置可以是末端工具的特征点与第一预设区域的中轴线之间的距离。在一些实施例中，当末端工具在第一预设区域内时，末端工具的位姿信息可以包括末端工具的当前角度。在一些实施例中，末端工具的当前角度可以是末端工具在第一预设区域中的角度。在一些实施例中，末端工具的当前角度可以是末端工具的中轴线与第一预设区域的中轴线之间的夹角的角度。在一些实施例中，末端工具的当前位置和/或当前角度也可以是其他预设区域内的位置或角度，本说明书实施例对此不作限制。

[0051] 图 3 是根据本说明书一些实施例所示的第一预设区域的示例性结构图。请参照图 3，在一

些实施例中，末端工具的操作区域可以包括第一预设区域 300，末端工具可以在第一预设区域 300 进行手术操作。在一些实施例中，第一预设区域 300 可以由手术操作的对象的目标位置附近的可操作空间确定的区域范围。在一些实施例中，当手术操作的对象（也称为手术对象或对象）运动，末端工具对应的第一预设区域 300 可以跟随手术操作的对象运动。在一些实施例中，定位装置 120 可以确定末端工具在第一预设区域 300 内的位姿，处理器 130 可以根据末端工具的当前位姿信息向操作者施加第一反馈信息以使末端工具保持在第一预设区域 300 内，并使操作者可以根据第一反馈信息确定末端工具在第一预设区域 300 内的位姿是否满足手术要求。

[0052] 在一些实施例中，第一预设区域 300 可以包括锥形区域（如图 3 所示）。在另一些实施例中，第一预设区域 300 也可以包括碗状区域或柱状区域。在另一些实施例中，第一预设区域 300 还可以包括锥形区域与柱状区域（如图 4 所示），此时图 4 中的中部柱状区域 420 可以对应于手术对象的皮肤部分。需要说明的是，第一预设区域 300 的实际范围可以由操作者根据具体情况和/或个人习惯预先进行设置。

[0053] 在一些实施例中，第一预设区域 300 的中心轴可以为末端工具的预设路径，即操作者所希望的末端工具的运动路径。在一些实施例中，第一预设区域 300 的顶端 D 点（如图 3 与图 4 中的锥形区域的顶点 D 点）为末端工具在对象上的目标位置，即预设路径的末端（或称为下端）为末端工具的手术位置。

[0054] 在一些实施例中，当末端工具位于第一预设区域 300 内时，操作者可以手动拖拽末端工具执行手术操作。在一些实施例中，当操作者对末端工具施加的外力不超过预设值时，末端工具的运动范围被限制在第一预设区域 300 内，即在操作者对末端工具施加的外力不超过预设值时，操作者无法将末端工具移至第一预设区域 300 以外。在一些实施例中，将末端工具限制在第一预设区域 300 内的外力的预设值可以由用户设定，例如，用户可以将该预设值设置为 80 牛顿。在一些实施例中，将末端工具限制在第一预设区域 300 内的外力的预设值的取值范围可以包括 40 牛顿~80 牛顿。在一些实施例中，将末端工具限制在第一预设区域 300 内的外力的预设值的取值范围可以包括 20 牛顿~100 牛顿。在一些实施例中，将末端工具限制在第一预设区域 300 内的外力的预设值的取值范围可以包括 60 牛顿~80 牛顿。

[0055] 在一些实施例中，由于第一预设区域 300 为末端工具的操作区域，因此，第一预设区域 300 的锥形区域的锥角范围与操作区域的开口大小有关，而锥角的范围代表了末端工具与预设路径之间的允许角度的范围。因此在实际应用中，操作者可以根据具体情况设定锥形区域的锥角范围。在一些实施例中，锥形区域的锥角的角度范围可以为 20° ~ 40° 。在一些实施例中，锥形区域的锥角的角度范围可以为 25° ~ 35° 。在一些实施例中，锥形区域的锥角的角度可以为 30° ，此时锥形区域的半锥角的角度为 15° ，如图 3 所示。

[0056] 在一些实施例中，第一预设区域 300 的锥形区域的高度代表了操作区域的深度，即从对象皮肤表层的开口至操作区域（目标位置）之间的距离长度，因此在实际应用中，操作者可以根据具体情况设定锥形区域的高度范围。在一些实施例中，锥形区域的高度范围可以为 100mm~300mm。在一些实施例中，锥形区域的高度范围可以为 150mm~250mm。在一些实施例中，锥形区域的高度可以为 200mm。

[0057] 图 4 是根据本说明书一些实施例所示的第二预设区域的示例性结构图。在一些实施例中，参见图 4，末端工具的操作区域还可以包括第二预设区域 400，末端工具可以在第二预设区域 400 跟随对象运动。在一些实施例中，当末端工具位于第二预设区域 400 内时，当手术操作的对象运动，机械臂装置 110 可以根据手术操作的对象运动信息，主动控制末端工具产生相应的运动。即，当手术对象运动，此时机械臂装置 110 可以根据相应信息（例如对象的运动信息、末端工具的受力信息等）控制末端工具主动运动，以保证末端工具与手术对象的相对位置不变或基本不变，便于手术的后续操作。

[0058] 在一些实施例中，第二预设区域 400 的范围可以是预先设置（如，由操作者或厂家设置）的。在一些实施例中，第二预设区域 400 可以是第一预设区域 300 上方一定范围内的区域。在一些实施例中，第二预设区域 400 可以是与第一预设区域 300 有一定重合范围的区域。在一些实施例中，参见图 4，第二预设区域 400 可以是包含第一预设区域 300 的区域。需要说明的是，本说明书所述的“上”、“下”指相对方向，参见图 4，沿第一预设区域 300 的中心轴的方向靠近对象上的目标位置的一方为“下”，沿第一预设区域 300 的中心轴的方向远离对象上的目标位置的一方为“上”。在一些实施例中，第二预设区域 400 的形状可以是任意形状。

[0059] 在一些实施例中，第二预设区域 400 可以包括第一预设区域 300。在一些实施例中，如图

4 所示, 图 4 中的顶部阴影区域 410、中部柱状区域 420、下部锥状区域 430 可以均属于第二预设区域 400, 当末端工具位于上述三个区域时, 机械臂装置 110 可以主动控制末端工具运动。

[0060] 在一些实施例中, 第二预设区域 400 可以不包括第一预设区域 300。在一些实施例中, 图 4 中的顶部阴影区域 410 可以属于第一预设区域 400, 中部柱状区域 420 与下部锥状区域 430 (即第一预设区域 300) 可以不属于第二预设区域 400, 当末端工具位于顶部阴影区域 410 时, 机械臂装置 110 可以主动控制末端工具跟随对象运动; 当末端工具位于中部柱状区域 420 或下部锥状区域 430 时, 可以由操作者控制末端工具跟随对象运动。

[0061] 在一些实施例中, 末端工具的位姿信息可以包括末端工具的距离信息与角度信息。其中, 末端工具的距离信息可以包括末端工具当前位姿与预设路径之间的目标距离; 末端工具的角度信息可以包括末端工具的轴线与预设路径 (例如第一预设区域 300 的锥形区域的中心轴) 之间的当前角度。

[0062] 在一些实施例中, 末端工具的位姿信息可以由定位装置 120 确定, 处理器 130 通过定位装置 120 获取末端工具的位姿信息。

[0063] 在一些实施例中, 末端工具上可以设置有用于位姿跟踪的特征点, 该特征点的位姿信息可以代表末端工具的位姿信息。

[0064] 步骤 220、基于位姿信息向操作者提供第一反馈信息。在一些实施例中, 步骤 220 可以由处理器 130 执行。

[0065] 在一些实施例中, 操作者可以是指手术机器人的操作人员, 例如医生等。在一些实施例中, 第一反馈信息是根据末端工具的位姿信息确定的, 不同的末端工具的位姿信息对应不同的第一反馈信息。操作者可以基于接收到的第一反馈信息确定对应的末端工具的位姿信息。

[0066] 在一些实施例中, 第一反馈信息可以包括第一反馈力。此时, 步骤 220 可以包括以下操作: 基于位姿信息向操作者施加第一反馈力。其中, 第一反馈力是指反馈给操作者的力, 第一反馈力的大小及方向与末端工具的位姿信息及运动方向相关。在一些实施例中, 第一反馈力还可以基于末端工具的位姿信息非线性变化, 以便增强提醒效果。在一些实施例中, 当末端工具与预设路径之间的距离较小时, 第一反馈力的大小可以较小。在一些实施例中, 当末端工具与预设路径之间的距离为 0 时, 第一反馈力的大小可以为 0。在一些实施例中, 当末端工具与预设路径之间的距离较大时, 第一反馈力的大小可以较大。在一些实施例中, 当末端工具位于第一预设区域 300 的边缘时, 末端工具与预设路径之间的距离较大, 此时第一反馈力可以突然增大, 以发挥提醒警示操作者的效果。关于第一反馈力的更多内容可以参照图 5 及其相关描述, 在此不再赘述。

[0067] 在一些实施例中, 第一反馈信息还可以包括第一反馈力矩。此时, 步骤 220 还可以包括以下操作: 基于位姿信息向操作者施加第一反馈力矩。其中, 第一反馈力矩是指反馈给操作者的力矩。在一些实施例中, 第一反馈力矩可以基于末端工具的位姿信息非线性变化, 以便增强提醒效果。关于第一反馈力矩的更多内容可以参照图 7 及其相关描述, 在此不再赘述。

[0068] 在一些实施例中, 流程 200 还可以包括步骤 230: 在第一预设区域, 当末端工具运动时, 使末端工具向操作者提供第二反馈信息。在一些实施例中, 步骤 230 可以由机械臂装置 110 执行。

[0069] 在一些实施例中, 当末端工具在第一预设区域 300 内运动时, 基于末端工具的运动信息, 处理器 130 可以使末端工具向操作者提供第二反馈信息。在一些实施例中, 末端工具的运动信息可以包括末端工具的运动速度、运动角速度等信息。

[0070] 在一些实施例中, 第二反馈信息可以基于阻尼系数确定。在一些实施例中, 阻尼系数可以基于末端工具的运动速度或运动角速度对应的阻尼函数确定。在一些实施例中, 可以采用对象的生物特征来确定阻尼系数, 以模拟手术操作时的真实触感, 第二反馈信息可以基于对象的生物特征确定。在一些实施例中, 对象的生物特征可以包括脂肪、关节液等人体特征。

[0071] 在一些实施例中, 第二反馈信息可以包括第二反馈力。第二反馈力可以是指基于末端工具的运动速度确定的、向操作者施加的力。关于第二反馈力的更多内容可以参照图 9 及其相关描述, 在此不再赘述。

[0072] 在一些实施例中, 第二反馈信息还可以包括第二反馈力矩。第二反馈力矩可以是指基于末端工具的运动角速度确定的、向操作者施加的力矩。关于第二反馈力矩的更多内容可以参照图 11 及其相关描述, 在此不再赘述。

[0073] 在一些实施例中, 流程 200 还可以包括步骤 240: 当末端工具不满足预设条件时, 输出警示信息。在一些实施例中, 步骤 240 可以由处理器 110 执行。

[0074] 在一些实施例中, 预设条件可以是指针对末端工具的相关参数设置的范围区间或判断条件,

例如末端工具的允许受力的大小范围、末端工具的实际路径与预设路径是否相符等。在一些实施例中，预设条件的数量可以是一个或两个及以上的多个。在一些实施例中，警示信息是用于向操作者示警、引起操作者注意的信号。在一些实施例中，警示信息可以包括但不限于声音警示信息、视觉警示信息等。例如警示信息可以是警铃声、指定颜色的灯光、指定预警图案、指定频率闪烁的光源等。在一些实施例中，警示信息可以由相应的零部件发出，例如扬声器可以发出警铃声、灯泡可以发出指定颜色的灯光或指定频率闪烁的光线等。

[0075] 在一些实施例中，步骤 240 可以包括：当末端工具未按照预设路径脱离第一预设区域时，输出警示信息。当末端工具的实际运动路径与预设路径不一致时，末端工具从第一预设区域 300 脱离的过程中，可能会对手术对象的开口区域的伤口造成不利影响，进而影响到手术的效果。因此，当末端工具未按照预设路径脱离第一预设区域 300 时，处理器 130 可以控制对应元器件发出相应的警示信息。

[0076] 在一些实施例中，步骤 240 还可以包括：当末端工具受到的力或力矩大于预设阈值时，输出警示信息。在一些实施例中，预设阈值可以包括末端工具受到的外力或外力产生的力矩的最大值。为了避免末端工具在外力的作用下脱离第一预设区域 300，操作者向末端工具施加的外力或力矩应处于预设阈值范围内，以避免影响手术效果。因此，当末端工具受到的力或力矩大于预设阈值时，处理器 130 可以控制对应元器件发出相应的警示信息。

[0077] 在一些实施例中，末端工具可以包括六维力传感器。六维力传感器可以用于检测末端工具受到的力和/或力矩，例如末端工具与手术操作对应的对象上的目标位置的接触力、操作者施加在末端工具上的拖动力等。在一些实施例中，六维力传感器还可以对检测到的力信号进行低通滤波，以过滤掉操作者手部或者手术对象身体抖动等噪声，从而提高力检测的准确性。

[0078] 在一些实施例中，当检测到手术对象运动时，流程 200 还可以包括其他步骤用于调整末端工具的位姿，以使末端工具主动跟随对象运动。有关主动调整末端工具位姿的更多内容，请参照图 12 及相关描述，在此不再赘述。

[0079] 图 5 是根据本说明书一些实施例所示的施加第一反馈力的示例性流程图。如图 5 所示，流程 500 可以包括下述步骤。在一些实施例中，流程 500 可以由手术机器人 100 执行。下面呈现的流程 500 的操作意图是说明性的。在一些实施例中，可以利用一个或以上未描述的附加操作和/或未讨论的一个或以上操作来完成该流程。

[0080] 步骤 510、获取末端工具的当前位置和当前刚度，基于当前位置和当前刚度确定第一反馈力。在一些实施例中，步骤 510 可以由处理器 130 执行。

[0081] 在一些实施例中，末端工具的当前位置可以是末端工具的特征点在第一预设区域 300 中相对于预设路径的位置。在一些实施例中，基于末端工具的当前位置，可以确定末端工具上的特征点距离第一预设区域的预设路径的当前距离（也称为目标距离）。在一些实施例中，末端工具的特征点可以是末端工具上用于位置跟踪的点。在一些实施例中，末端工具的当前刚度是指末端工具抵抗远离预设路径的能力。末端工具的当前刚度与末端工具的当前位置相关。例如，末端工具距离预设路径越远，末端工具的当前刚度可以越大。

[0082] 在一些实施例中，当前位姿对应的目标距离与当前刚度的值的乘积可以作为第一反馈力的大小。在一些实施例中，第一反馈力的方向可以由末端工具朝向预设路径的，即第一反馈力的方向可以是朝向预设路径的。

[0083] 在一些实施例中，末端工具的当前刚度与当前位姿中的当前位置具有对应关系。在一些实施例中，对应关系可以是表格形式，一个距离值或者一个距离范围可以对应一个刚度值。在另一些实施例中，对应关系还可以是函数形式，距离值（例如，当前距离）可以作为函数的自变量，刚度值（例如，当前刚度）可以作为函数的因变量，每个距离值可以根据函数关系确定一个对应的刚度值。

[0084] 在一些实施例中，对应关系可以是预先存储在处理器 130 中的，也可以是临时输入的。在一些实施例中，操作者可以查看或修改对应关系。

[0085] 在一些实施例中，当前刚度可以基于距离刚度函数确定。在一些实施例中，距离刚度函数的自变量可以是末端工具当前位置与预设路径之间的当前距离，通过距离刚度函数可以确定与该距离对应的当前刚度。

[0086] 在另一些实施例中，距离刚度函数的自变量可以是末端工具的特征点在当前位置时在第一预设区域 300 内相对于预设路径的距离当量。在一些实施例中，距离当量可以是指末端工具的特征点在当前位置时相对于预设路径的当前距离与最大距离的比值，即锥形区域中，末端工具的特征点

相对于预设路径的距离与第一预设区域的边界处相对于预设路径的距离的比值。在确定了末端工具的当前位置对应的距离后，可以确定该距离对应的距离当量；根据该距离当量以及该当前位置对应的距离刚度函数，可以确定当前位置对应的当前刚度。

[0087] 图6是根据本说明书一些实施例所示的距离刚度函数的示例性图像示意图。请参照图6，图6中所示坐标系的横坐标为末端工具的当前距离当量，即距离刚度函数的自变量为距离当量时的图像。在一些实施例中，距离刚度函数的自变量（例如，距离当量）的取值区间可以为0~1。在一些实施例中，距离刚度函数可以是自变量取值区间内的分段函数。在另一些实施例中，距离刚度函数也可以是自变量取值区间内的非分段函数。在一些实施例中，距离刚度函数可以包括常数函数与单调递增二次曲线函数。在另一些实施例中，距离刚度函数还可以包括离散函数。在还一些实施例中，距离刚度函数还可以包括其他单调递增的函数，例如三次函数、单调递增分段函数等。

[0088] 在一些实施例中，距离刚度函数的自变量采用距离当量，可使末端工具在同一区域的边界上沿第一预设区域300的轴线方向的不同位置处受到的第一反馈力是相同的。如图3所示，点A与点B分别为内层区域310的边界点，虽然A点与B点两点距离第一预设区域300的中心轴（预设路径）的距离是不同的，但二者均位于同一区域的边界上，两者对应的距离当量是相同的，因此末端工具在边界点A与其在边界点B受到的第一反馈力是相同的。这样操作者可以通过感知末端工具在当前位置提供的第一反馈力来判断末端工具是否已经到达或临近第一预设区域300中的各区域的边界，从而确定末端工具的位置范围。

[0089] 请参照图3，以图3中的内层区域310作为示例，将图3中内层区域310的边界点C对应的半径作为参考半径 $R_{\text{参}}$ ，设定M为距离刚度函数，末端工具在该边界点C处受到的第一反馈力为 $F = M \cdot R_{\text{参}}$ 。若末端工具的当前位置位于该参考半径的中心点处，在该参考半径的中心点 $\frac{R_{\text{参}}}{2}$ 处受到的第一反馈力为 $M \cdot \frac{R_{\text{参}}}{2} = \frac{F}{2}$ 。同理，如果末端工具当前位于边界点B所在半径的中间点上，末端工具的当前位置对应的最大半径为 R_B ，当前位置与预设路径的距离为 $\frac{R_B}{2}$ ，末端工具在当前位置处受到的第一反馈力为 $f = M \frac{R_B}{2} \frac{R_{\text{参}}}{R_B} = M \frac{R_{\text{参}}}{2} = \frac{F}{2}$ 。即末端工具在距离当量相同的当前位置所受到的第一反馈力相同。

[0090] 在一些实施例中，距离刚度函数在超过一半的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，如图6所示，距离刚度函数的自变量可以包括三个连续的取值区间，三个取值区间可以分别对应第一预设区域300的内层区域310、中层区域320、外层区域330，此时距离刚度函数可以在两个或三个取值区间内连续。设定第一个取值区间（对应于第一预设区域的内层区域310）与第二个取值区间（对应于第一预设区域的中层区域320）的交界点为第一交界点E，第二个取值区间与第三个取值区间（对应于第一预设区域的外层区域330）的交界点为第二交界点F。此时第一个取值区间（内层区域310）的第一交界点E处对应的距离刚度函数值可以与第二个取值区间（中层区域320）的第一交界点E处的距离刚度函数值相同，从而使得距离刚度函数可以在第一个取值区间（内层区域310）与第二个取值区间（中层区域320）内连续。第二个取值区间（中层区域320）的第二交界点F处对应的距离刚度函数值可以与第三个取值区间（外层区域330）的第二交界点F处的距离刚度函数值相同，从而使得距离刚度函数可以在第二个取值区间（中层区域320）与第三个取值区间（外层区域330）内连续。在一些实施例中，距离刚度函数在超过60%的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，距离刚度函数在超过80%的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，距离刚度函数在超过90%的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，距离刚度函数在超过95%的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，距离刚度函数在对应于第一预设区域300的整个自变量取值区间内连续。通过设置距离刚度函数连续，可以使得第一反馈力的大小连续，从而避免操作者在操作过程中有顿挫感，提升操作体验。

[0091] 在一些实施例中，距离刚度函数的导数不小于第一预设值。通过第一预设值对距离刚度函数的导数的取值范围进行限制，从而对距离刚度函数的增减性进行限制。在一些实施例中，第一预设值可以是0，或其他接近0的正数数值。在一些实施例中，当第一预设值为0时，对应的距离刚度函数的导数可以是0或者大于0的正数，此时距离刚度函数可以包括常数函数或递增函数。在一些实施例中，当第一预设值其他接近0的正数数值（例如0.01、0.001等）时，对应的距离刚度函数的导数为正数，此时距离刚度函数可以包括递增函数。

[0092] 在一些实施例中，距离刚度函数可以包括一个一阶导数不连续点。即，可以存在两个相邻

的自变量取值区间,在这两个取值区间的交界点处,距离刚度函数的一阶导数不连续,距离刚度函数在此交界点处的变化率不一致,距离刚度函数在此交界点处的图像的切线斜率不一致。例如图 6 中所示的 F 点处, F 点左侧的距离刚度函数为递增函数,递增函数在 F 点处的一阶导数大于 0; F 点右侧的距离刚度函数为常数函数,常数函数在 F 点处的一阶导数等于 0,因此 F 点为距离刚度函数的一阶导数不连续点。

[0093] 在一些实施例中,距离刚度函数可以包括两个二阶导数不连续点。即,可以存在多个不同取值区间之间的两个交界点,在这两个交界点处,距离刚度函数的二阶导数不连续,距离刚度函数的导数的变化率不一致,距离刚度函数的导数图像的切线斜率不一致。在一些实施例中,距离刚度函数可以存在三个或三个以上连续的自变量取值区间,即自变量的多个取值区间之间的交界点可以有二个或两个以上,在这两个交界点处,距离刚度函数的二阶导数不连续。在一些实施例中,如图 6 所示,距离刚度函数的自变量可以包括三个连续的取值区间,三个取值区间可以分别对应第一预设区域 300 的内层区域 310、中层区域 320、外层区域 330,内层区域 310 的第一交界点 E 处对应的距离刚度函数的二阶导数值可以与中层区域 320 的第一交界点 E 处的距离刚度函数的二阶导数值不同,中层区域 320 的第二交界点 F 处对应的距离刚度函数的二阶导数值可以与外层区域 330 的第二交界点 F 处的距离刚度函数的二阶导数值不同。在一些实施例中,距离刚度函数可以存在四个连续的自变量取值区间,第一取值区间与第二取值区间的交界点为第一交界点,第二取值区间与第三取值区间的交界点为第二交界点,第三取值区间与第四取值区间的交界点为第三交界点。距离刚度函数的二阶导数可以在第一交界点处以及第三交界点处不连续,距离刚度函数的二阶导数可以在第二交界点处连续。

[0094] 在一些实施例中,距离刚度函数可以包括函数关系不同的多个自变量取值区间。在一些实施例中,距离刚度函数的自变量可以包括函数关系不同的第一取值区间、第二取值区间和第三取值区间。在一些实施例中,在距离刚度函数的自变量的第一取值区间,超过一半的区间范围内的距离刚度函数的一阶导数不大于第二预设值;在距离刚度函数的自变量的第二取值区间,超过一半的区间范围内距离刚度函数的一阶导数大于第二预设值;在距离刚度函数的自变量的第三取值区间,超过一半的区间范围内距离刚度函数的一阶导数不大于第二预设值。

[0095] 在一些实施例中,距离刚度函数的自变量第一取值区间、第二取值区间和第三取值区间可以是连续的区间,结合图 3,距离刚度函数的自变量第一取值区间、第二取值区间和第三取值区可以对应于第一预设区域 300 的三个不同的空间区域。在一些实施例中,距离刚度函数的自变量的第一取值区间可以对应第一预设区域 300 的内层区域 310,距离刚度函数的自变量的第二取值区间可以对应第一预设区域 300 的中层区域 320,距离刚度函数的自变量的第三取值区间可以对应第一预设区域 300 的外层区域 330。在一些实施例中,参照图 6,图 6 中坐标系的横坐标为距离当量,距离当量的第一取值区间的范围可以包括 $0 \sim 2/3$,对应图 6 中内层区域 310 的边界点 $0 \sim E$,即此时 $E=2/3$;距离当量的第二取值区间的范围包括 $2/3 \sim 5/6$,对应图 6 中中层区域 320 的边界点 $E \sim F$,即此时 $F=5/6$;距离当量的第三取值区间的范围包括 $5/6 \sim 1$,对应图 6 中的外层区域 330 的边界点为 $F \sim 1$ 。

[0096] 在另一些实施例中,距离刚度函数的自变量第一取值区间、第二取值区间和第三取值区间也可以是不连续的区间。例如,距离刚度函数的自变量的取值范围可以是 $0-1$,距离刚度函数的自变量第一取值区间可以是 $0-0.32$,距离刚度函数的自变量第二取值区间可以是 $0.33-0.65$,距离刚度函数的自变量第三取值区间可以是 $0.66-1$ 。

[0097] 在一些实施例中,第二预设值可以大于或等于第一预设值。在一些实施例中,第二预设值可以是非负数。在一些实施例中,第一预设值可以为 0,第二预设值的取值范围可以也是 0。在一些实施例中,当第二预设值为 0 时,在内层区域 310 中,超过一半的区间范围内的距离刚度函数的一阶导数可以为 0,此时内层区域 310 中的距离刚度函数可以为常数函数;在中层区域 320 中,超过一半的区间范围内的距离刚度函数的一阶导数可以大于 0,此时中层区域 320 中的距离刚度函数可以为递增函数;在外层区域 330 中,超过一半的区间范围内的距离刚度函数的一阶导数可以为 0,此时外层区域 330 中的距离刚度函数可以为常数函数。在一些实施例中,第二预设值也可以是大于 0 的任意正数。由于不同空间区域对应的距离刚度函数不同,因此,末端工具在不同的空间区域内所受到的第一反馈力的变化形式不同,因此用户可以根据第一反馈力的变化确定末端工具当前所处的空间区域,即末端工具当前在第一预设区域 300 内的大致位姿,实现了对末端工具的位姿引导。

[0098] 在一些实施例中,距离刚度函数也可以包括多个函数,自变量的不同取值区间可以使用不同的函数表示。例如,距离刚度函数可以包括常数函数与递增函数交替设置。在一些实施例中,内层区域 310 对应的距离刚度函数可以为第一常数刚度函数。中层区域 320 对应的距离刚度函数可以

为递增刚度函数。在一些实施例中，递增函数可以包括单调递增的二次曲线函数。在一些实施例中，外层区域 330 对应的距离刚度函数可以为第二常数刚度函数。

[0099] 步骤 520、基于末端工具的运动方向向操作者施加第一反馈力。在一些实施例中，步骤 520 可以由机械臂装置 110 执行。

[0100] 在一些实施例中，第一反馈力的方向可以始终是由末端工具朝向预设路径的，从而为操作者提示预设路径相对于末端工具所在的方位，避免操作者将末端工具移出第一预设区域 300。在一些实施例中，当末端工具从内层区域 310 进入中层区域 320 时，末端工具的运动阻力变大。在一些实施例中，当末端工具从中层区域 320 进入内层区域 310 时，由于末端工具的运动方向朝向预设路径，此时末端工具不受到阻力，即此时第一反馈力为 0。在一些实施例中，当末端工具所在位姿对应的距离当量变大时，末端工具的运动阻力变大。请参照图 3，以内层区域 310 与中层区域 320 为例，由于两个相邻的空间区域对应的距离刚度函数在公共边界处的距离刚度值相同，因此末端工具在从一个空间区域进入另一个空间区域（例如从内层区域 310 进入中层区域 320）时，其受到的第一反馈力是连续变化的，而非跳变的。该连续变化的第一反馈力有助于提高操作者对末端工具的掌控力，从而提高操作者拖动末端工具运动的准确性。

[0101] 在一些实施例中，在距离当量的第一取值区间（例如内层区域 310 对应的 0~2/3 范围）内，末端工具向操作者提供的第一反馈力的取值范围为 0 牛顿~6 牛顿。在一些实施例中，在距离当量的第一取值区间内，末端工具向操作者提供的第一反馈力的取值范围为 0 牛顿~4 牛顿。在一些实施例中，在距离当量的第一取值区间内，末端工具向操作者提供的第一反馈力的取值范围为 0 牛顿~8 牛顿。在距离当量的第二取值区间（例如中层区域 320 对应的 2/3~5/6 范围）内，末端工具向操作者提供的第一反馈力的取值范围为 6 牛顿~208 牛顿。在距离当量的第二取值区间内，末端工具向操作者提供的第一反馈力的取值范围为 4 牛顿~200 牛顿。在距离当量的第二取值区间内，末端工具向操作者提供的第一反馈力的取值范围为 8 牛顿~220 牛顿。在距离当量的第三取值区间（例如外层区域 330 对应的 5/6~1 范围）内，末端工具向操作者提供的第一反馈力的取值范围为 208 牛顿~250 牛顿。在距离当量的第三取值区间内，末端工具向操作者提供的第一反馈力的取值范围为 200 牛顿~250 牛顿。在距离当量的第三取值区间内，末端工具向操作者提供的第一反馈力的取值范围为 220 牛顿~250 牛顿。

[0102] 图 7 是根据本说明书一些实施例所示的施加第一反馈力矩的示例性流程图。如图 7 所示，流程 700 可以包括下述步骤。在一些实施例中，流程 700 可以由手术机器人 100 执行。下面呈现的流程 700 的操作意图是说明性的。在一些实施例中，可以利用一个或以上未描述的附加操作和/或未讨论的一个或以上操作来完成该流程。

[0103] 步骤 710、获取末端工具的当前角度和当前角度刚度，基于当前角度和角度刚度确定第一反馈力矩。在一些实施例中，步骤 710 可以由处理器 130 执行。

[0104] 在一些实施例中，末端工具的当前角度是指末端工具的轴线与预设路径（例如第一预设区域 300 的锥形区域的中心轴）之间的角度。在一些实施例中，末端工具所允许的最大当前角度为第一预设区域 300 的锥形区域的锥角。当末端工具的轴线与预设路径重合或平行时，当前角度最小，角度值为 0；当末端工具的轴线与锥形区域的边界平行时，所允许的当前角度最大，角度值为锥角的一半。在一些实施例中，角度刚度是指末端工具抵抗旋转的能力。末端工具的当前角度刚度与末端工具的当前角度相关。例如，末端工具与预设路径的角度越大，末端工具的当前角度刚度可以越大。

[0105] 在一些实施例中，末端工具的当前角度刚度与当前角度具有对应关系。在一些实施例中，对应关系可以是表格形式，一个角度值或者一个角度范围可以对应一个角度刚度值。在另一些实施例中，对应关系还可以是函数形式，角度值可以作为函数的自变量，角度刚度值可以作为函数的因变量，每个角度值可以根据函数关系确定一个对应的角度刚度值。

[0106] 在一些实施例中，对应关系可以是预先存储在处理器 130 中的，也可以是临时输入的。在一些实施例中，操作者可以查看或修改对应关系。

[0107] 在一些实施例中，当前角度刚度可以基于角度刚度函数确定。在一些实施例中，角度刚度函数的自变量可以是末端工具与预设路径之间的当前角度，通过角度刚度函数可以确定与当前角度对应的当前角度刚度。

[0108] 在另一些实施例中，角度刚度函数的自变量可以是末端工具的当前位姿在第一预设区域 300 内相对于预设路径的角度当量。在一些实施例中，角度当量可以是指末端工具的当前位姿对应的当前角度与最大角度的比值，即锥形区域中，末端工具的当前位姿对应的当前角度与锥角的一半

的比值。在确定了末端工具的当前位姿对应的当前角度后，可以确定该距离对应的角度当量；根据该角度当量以及该当前角度对应的角度刚度函数，可以确定当前角度对应的当前角度刚度。

[0109] 图 8 是根据本说明书一些实施例所示的角度刚度函数的示例性图像示意图。请参照图 8，图 8 中所示坐标系的横坐标为末端工具的当前角度当量，即角度刚度函数的自变量为角度当量时的图像。在一些实施例中，角度刚度函数的自变量（例如，角度当量）的取值区间可以为 0~1。在一些实施例中，角度刚度函数可以包括常数函数与单调递增二次曲线函数。在另一些实施例中，角度刚度函数还可以包括离散函数。在还一些实施例中，角度刚度函数还可以包括其他单调递增的函数，例如三次函数、分段函数等。

[0110] 在一些实施例中，角度刚度函数的自变量可以具有三个连续的取值区间，包含最小角度的第一角度区间，包含最大角度的第三角度区间即第三角度区间，位于第一角度区间与第三角度区间之间的第二角度区间。相应的第一预设区域 300 可以划分为三个不同的空间区域，包括中心轴的第一角度区域，包括锥形区域边界的第三角度区域，位于第一角度区域与第三角度区域之间的第二角度区域。需要说明的是，由于锥形区域是轴对称的，因此三个角度区域也是轴对称的。

[0111] 在一些实施例中，角度刚度函数可以包括分段函数，自变量的不同取值区间对应的角度刚度函数不同。例如，角度刚度函数可以为常数函数与递增函数交替设置。在一些实施例中，第一角度区间对应的角度刚度函数可以为第一常数角度刚度函数，第二角度区间对应的角度刚度函数可以为递增角度刚度函数，第三角度区间对应的角度刚度函数可以为第二常数角度刚度函数。在一些实施例中，角度刚度函数也可以是自变量取值区间内的非分段函数。

[0112] 在一些实施例中，角度刚度函数在超过一半的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，如图 8 所示，角度刚度函数的自变量可以包括三个连续的取值区间。设定第一角度区间与第二角度区间的交界点为第一交界点 G，第二个角度区间与第三角度区间的交界点为第二交界点 H。此时第一角度区间的第一交界点 G 处对应的角度刚度函数值可以与第二角度区间的第一交界点 G 处的角度刚度函数值相同，从而使得角度刚度函数可以在第一角度区间与第二角度区间内连续。第二角度区间的第二交界点 H 处对应的角度刚度函数值可以与第三角度区间的第二交界点 H 处的角度刚度函数值相同，从而使得角度刚度函数可以在第二角度区间与第三角度区间内连续。在一些实施例中，角度刚度函数在超过 60% 的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，角度刚度函数在超过 80% 的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，角度刚度函数在超过 90% 的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，角度刚度函数在整个自变量取值区间内连续。通过设置角度刚度函数连续，可以使得第一反馈力矩的大小连续，从而避免操作者在操作过程中有顿挫感，提升操作体验。

[0113] 在一些实施例中，角度刚度函数的导数不小于第三预设值。通过第三预设值对角度刚度函数的导数的取值范围进行限制，从而对角度刚度函数的增减性进行限制。在一些实施例中，第三预设值可以是 0，或其他接近 0 的正数数值。在一些实施例中，当第三预设值为 0 时，对应的角度刚度函数的导数可以是 0 或者大于 0 的正数，此时角度刚度函数可以包括常数函数或递增函数。在一些实施例中，当第三预设值其他接近 0 的正数数值（例如 0.01、0.001 等）时，对应的角度刚度函数的导数为正数，此时角度刚度函数可以包括递增函数。

[0114] 在一些实施例中，角度刚度函数可以包括一个一阶导数不连续点。即，可以存在两个相邻的自变量取值区间，在这两个取值区间的交界点处，角度刚度函数的一阶导数不连续，角度刚度函数在此交界点处的变化率不一致，角度刚度函数在此交界点处的图像的切线斜率不一致。例如图 8 中所示的 H 点处，H 点左侧的角度刚度函数为递增函数，递增函数在 H 点处的一阶导数大于 0；H 点右侧的角度刚度函数为常数函数，常数函数在 H 点处的一阶导数等于 0，因此 H 点为角度刚度函数的一阶导数不连续点。

[0115] 在一些实施例中，角度刚度函数可以包括两个二阶导数不连续点。即，可以存在多个不同取值区间之间的两个交界点，在这两个交界点处，角度刚度函数的二阶导数不连续，角度刚度函数的导数的变化率不一致，角度刚度函数的导数图像的切线斜率不一致。在一些实施例中，角度刚度函数可以存在三个或三个以上连续的自变量取值区间，即自变量的多个取值区间之间的交界点可以有二个或二个以上，在这两个交界点处，角度刚度函数的二阶导数不连续。在一些实施例中，如图 8 所示，角度刚度函数的自变量可以包括三个连续的取值区间，三个取值区间为第一角度区间（即角度刚度函数的自变量的第一取值区间）、第二角度区间（即角度刚度函数的自变量的第二取值区间）与第三角度区间（即角度刚度函数的自变量的第三取值区间），第一角度区间的第一交界点 G 处对应的角度刚度函数的二阶导数值可以与第二角度区间的第一交界点 G 处的角度刚度函数的二

阶导数值不同，第二角度区间的第二交界点H处对应的角度刚度函数的二阶导数值可以与第三角度区间的第二交界点H处的角度刚度函数的二阶导数值不同。在一些实施例中，角度刚度函数可以存在四个连续的自变量取值区间，第一取值区间与第二取值区间的交界点为第一交界点，第二取值区间与第三取值区间的交界点为第二交界点，第三取值区间与第四取值区间的交界点为第三交界点。角度刚度函数的二阶导数可以在第一交界点处以及第三交界点处不连续，角度刚度函数的二阶导数可以在第二交界点处连续。

[0116] 在一些实施例中，角度刚度函数可以包括函数关系不同的多个自变量取值区间。在一些实施例中，角度刚度函数的自变量可以包括函数关系不同的第一取值区间、第二取值区间和第三取值区间。在一些实施例中，角度刚度函数的函数关系不同多个自变量取值区间可以是连续的取值区间。在另一些实施例中，角度刚度函数的函数关系不同的多个自变量取值区间也可以是不连续的取值区间。在一些实施例中，在角度刚度函数的自变量的第一取值区间（第一角度区间），超过一半的区间范围内的角度刚度函数的一阶导数不大于第四预设值；在角度刚度函数的自变量的第二取值区间（第二角度区间），超过一半的区间范围内角度刚度函数的一阶导数大于第四预设值；在角度刚度函数的自变量的第三取值区间（第三角度区间），超过一半的区间范围内角度刚度函数的一阶导数不大于第四预设值。

[0117] 在一些实施例中，第四预设值可以大于或等于第三预设值。在一些实施例中，第四预设值可以是非负数。在一些实施例中，第三预设值可以为0，第四预设值的取值范围可以也是0。在一些实施例中，当第四预设值为0时，在第一角度区间中，超过一半的区间范围内的角度刚度函数的一阶导数可以为0，此时第一角度区间中的角度刚度函数可以为常数函数；在第二角度区间中，超过一半的区间范围内的角度刚度函数的一阶导数可以大于0，此时第二角度区间中的角度刚度函数可以为递增的二次曲线函数；在第三角度区间中，超过一半的区间范围内的角度刚度函数的一阶导数可以为0，此时第三角度区间中的角度刚度函数可以为常数函数。由于不同角度区间对应的角度刚度函数不同，因此，末端工具在不同的角度区间对应的空间区域内所受到的第一反馈力矩的变化形式不同，因此用户可以根据第一反馈力矩的变化形式确定末端工具当前所处的空间区域，即末端工具当前在第一预设区域300内的大致位姿，实现了对末端工具的位姿引导。

[0118] 在一些实施例中，角度刚度函数的自变量可以为当前位姿在第一预设区域300内相对于预设路径的角度当量。此时，请参照图8，将图8中坐标系的横坐标替换为角度当量，角度当量的第一取值区间的范围可以包括 $0\sim 2/3$ ，对应图8中第一角度区间的边界点 $0\sim G$ ，即此时 $G=2/3$ ；角度当量的第二取值区间的范围包括 $2/3\sim 5/6$ ，对应图8中第二角度区间的边界点 $G\sim H$ ，即此时 $H=5/6$ ；角度当量的第三取值区间的范围包括 $5/6\sim 1$ ，对应图8中的第三角度区间的边界点为 $H\sim 1$ 。

[0119] 步骤720、基于末端工具的运动方向向操作者施加第一反馈力矩。在一些实施例中，步骤720可以由机械臂装置110执行。

[0120] 在一些实施例中，第一反馈力矩的方向可以始终是由末端工具朝向预设路径的转动方向，从而为操作者提示预设路径相对于末端工具所在的姿态，避免操作者将末端工具转动到第一预设区域300外。在一些实施例中，当末端工具从角度值较小的角度区域转动至角度值较大的角度区域时，末端工具的转动阻力变大。在一些实施例中，当末端工具从角度值较大的角度区域转动至角度值较小的角度区域时，由于末端工具的转动方向朝向预设路径，此时末端工具不受到阻碍力矩，即此时第一反馈力矩为0。在一些实施例中，由于角度刚度函数的自变量的三个取值区间是连续的，因此两个相邻的取值区间所对应的角度刚度函数在公共边界处的角度刚度值相同，因此末端工具与预设路径之间的角度在从一个取值区间进入另一取值区间时，末端工具受到的第一反馈力矩是连续变化的，而非跳变的。该连续变化的第一反馈力矩有助于提高操作者对末端工具的掌控力，从而提高用户拖动末端工具运动的准确性。

[0121] 在另一些实施例中，第一反馈力矩的方向也可以基于末端工具的运动方向确定。例如，第一反馈力矩的方向可以与末端工具的转动方向相反。当末端工具向远离预设路径的方向转动时，第一反馈力矩可以启动阻拦作用；当末端工具向靠近预设路径的方向转动时，第一反馈力矩可以启动助推作用，从而为操作者提示预设路径相对于末端工具所在的方位。

[0122] 在一些实施例中，由于不同的取值区间对应不同的角度刚度函数，而且第一反馈力矩是基于末端工具与预设路径之间的当前角度以及该当前角度对应的角度刚度值的乘积确定的，而角度刚度值是由该当前角度以及该当前角度对应的角度刚度函数确定的，因此角度刚度函数决定着第一反馈力矩的变化形式，因此操作者可以根据第一反馈力矩的变化形式确定末端工具所在的取值区间，即确定末端工具与预计路径之间的角度范围，有助于提高用户对末端工具位姿的掌控力，从而提高

骨科手术的速度和准确性。

[0123] 在一些实施例中，在角度当量的第一取值区间内，末端工具向操作者提供的第一反馈力矩的取值范围为 0 牛·米~17 牛·米。在一些实施例中，在角度当量的第一取值区间内，末端工具向操作者提供的第一反馈力矩的取值范围为 0 牛·米~14 牛·米。在一些实施例中，在角度当量的第一取值区间内，末端工具向操作者提供的第一反馈力矩的取值范围为 0 牛·米~20 牛·米。在一些实施例中，在角度当量的第二取值区间内，末端工具向操作者提供的第一反馈力矩的取值范围为 17 牛·米~65 牛·米。在一些实施例中，在角度当量的第二取值区间内，末端工具向操作者提供的第一反馈力矩的取值范围为 14 牛·米~62 牛·米。在一些实施例中，在角度当量的第二取值区间内，末端工具向操作者提供的第一反馈力矩的取值范围为 20 牛·米~68 牛·米。在一些实施例中，在角度当量的第三取值区间内，末端工具向操作者提供的第一反馈力矩的取值范围为 65 牛·米~78.5 牛·米。在一些实施例中，在角度当量的第三取值区间内，末端工具向操作者提供的第一反馈力矩的取值范围为 62 牛·米~78.5 牛·米。在一些实施例中，在角度当量的第三取值区间内，末端工具向操作者提供的第一反馈力矩的取值范围为 68 牛·米~78.5 牛·米。

[0124] 图 9 是根据本说明书一些实施例所示的施加第二反馈力的示例性流程图。如图 9 所示，流程 900 可以包括下述步骤。在一些实施例中，流程 900 可以由手术机器人 100 执行。下面呈现的流程 900 的操作意图是说明性的。在一些实施例中，可以利用一个或以上未描述的附加操作和/或未讨论的一个或以上操作来完成该流程。

[0125] 步骤 910、获取末端工具的当前速度和当前阻尼。在一些实施例中，步骤 910 可以由处理器 130 执行。

[0126] 在一些实施例中，通过末端工具的当前速度可以确定对应的阻尼函数，从而确定当前速度对应的当前阻尼。在一些实施例中，末端工具的允许速度不超过预设速度，以免末端工具运动过快导致意外，例如可能与手术对象的开口区域的伤口造成伤害，影响手术效果等。在一些实施例中，预设速度是指末端工具允许达到的最大速度值。预设速度可以由操作者根据实际情况进行确定。

[0127] 在一些实施例中，当前阻尼与末端工具的当前速度可以具有对应关系。在一些实施例中，对应关系可以是表格形式，一个速度值或者一个速度范围可以对应一个阻尼值。在另一些实施例中，对应关系还可以是函数形式，速度值可以作为函数的自变量，阻尼值可以作为函数的因变量，每个速度值可以根据函数关系确定一个对应的阻尼值。

[0128] 在一些实施例中，对应关系可以是预先存储在处理器 130 中的，也可以是临时输入的。在一些实施例中，操作者可以查看或修改对应关系。

[0129] 在一些实施例中，当前阻尼可以基于阻尼函数确定。在一些实施例中，阻尼函数的自变量可以是末端工具的当前速度，通过阻尼函数可以确定与该速度对应的当前阻尼，例如，与该速度的大小对应的阻尼大小，以及与该速度的方向对应的阻尼方向。在一些实施例中，当前速度的取值区间可以是最小允许速度至最大允许速度。在一些实施例中，最小允许速度和最大允许速度可以由操作者根据实际情况设置。在一些实施例中，最小允许速度可以是 0。

[0130] 图 10 是根据本说明书一些实施例所示的阻尼函数的示例性图像示意图。请参照图 10，图 10 中所示坐标系的横坐标为末端工具的当前速度，即阻尼函数的自变量为速度时的图像。在一些实施例中，阻尼函数可以是自变量取值区间内的分段函数。在另一些实施例中，阻尼函数也可以是自变量取值区间内的非分段函数。在一些实施例中，阻尼函数可以包括常数函数与单调递增二次曲线函数。在另一些实施例中，阻尼函数还可以包括离散函数。在另一些实施例中，阻尼函数还可以包括其他单调递增的函数，例如三次函数、分段函数等。

[0131] 在一些实施例中，阻尼函数的自变量采用末端工具的当前速度。在一些实施例中，阻尼函数可以包括分段函数（即包括多个函数），自变量的不同取值区间对应的函数不同。例如，阻尼函数可以为常数函数与递增函数交替设置。在一些实施例中，第一速度区间对应的阻尼函数可以为第一常数阻尼函数，第二速度区间对应的阻尼函数可以为递增阻尼函数，第三速度区间对应的阻尼函数可以为第二常数阻尼函数。在一些实施例中，第二常数阻尼函数可以包括末端工具的最大允许速度区间对应的阻尼函数。

[0132] 在一些实施例中，阻尼函数也可以表示为一个函数。在一些实施例中，阻尼函数在超过一半的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，阻尼函数可以包括函数关系不同的多个自变量取值区间。在一些实施例中，阻尼函数的函数关系不同的多个自变量取值区间可以包括第一取值区间（也称为第一速度区间）、第二取值区间（也称为第二速度区间）和第三取值区间（也称为第三速度区间）。在一些实施例中，如图 10 所示，阻尼函数的自变量的第一取值区间、第二取值区间和第三取

值区间可以是三个连续的取值区间。设定第一速度区间与第二速度区间的交界点为第一交界点 J，第二个速度区间与第三速度区间的交界点为第二交界点 K。此时第一速度区间的第一交界点 J 处对应的阻尼函数值可以与第二速度区间的第一交界点 J 处的阻尼函数值相同，从而使得阻尼函数可以在第一速度区间与第二速度区间内连续。第二速度区间的第二交界点 K 处对应的阻尼函数值可以与第三速度区间的第二交界点 K 处的阻尼函数值相同，从而使得阻尼函数可以在第二速度区间与第三速度区间内连续。在一些实施例中，阻尼刚度函数在超过 60% 的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，阻尼刚度函数在超过 80% 的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，阻尼刚度函数在超过 90% 的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，阻尼刚度函数在超过 95% 的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，阻尼刚度函数在对应于第一预设区域 300 的整个自变量取值区间内连续。通过设置阻尼刚度函数连续，可以使得第一反馈力的大小连续，从而避免操作者在操作过程中有顿挫感，提升操作体验。在另一些实施例中，阻尼函数的自变量的第一取值区间、第二取值区间和第三取值区间也可以是不连续的取值区间。

[0133] 在一些实施例中，阻尼函数的导数不小于第五预设值。通过第五预设值对阻尼函数的导数的取值范围进行限制，从而对阻尼函数的增减性进行限制。在一些实施例中，第五预设值可以是 0，或其他接近 0 的正数数值。在一些实施例中，当第五预设值为 0 时，对应的阻尼函数的导数可以是 0 或者大于 0 的正数，此时阻尼函数可以包括常数函数或递增函数。在一些实施例中，当第五预设值是其他接近 0 的正数数值（例如 0.01、0.001 等）时，对应的阻尼函数的导数为正数，此时阻尼函数可以包括递增函数。

[0134] 在一些实施例中，阻尼函数可以包括一个一阶导数不连续点。即，可以存在两个相邻的自变量取值区间，在这两个取值区间的交界点处，阻尼函数的一阶导数不连续，阻尼函数在此交界点处的变化率不一致，阻尼函数在此交界点处的图像的切线斜率不一致。例如图 10 中所示的 K 点处，K 点左侧的阻尼函数为递增函数，递增函数在 K 点处的一阶导数大于 0；K 点右侧的阻尼函数为常数函数，常数函数在 K 点处的一阶导数等于 0，因此 K 点为阻尼函数的一阶导数不连续点。

[0135] 在一些实施例中，阻尼函数可以包括两个二阶导数不连续点。即，可以存在多个不同取值区间之间的两个交界点，在这两个交界点处，阻尼函数的二阶导数不连续，阻尼函数的导数的变化率不一致，阻尼函数的导数图像的切线斜率不一致。在一些实施例中，阻尼函数可以包括三个连续的自变量取值区间，即自变量的多个取值区间之间的交界点可以有两个，在这两个交界点处，阻尼函数的二阶导数不连续。在一些实施例中，如图 10 所示，阻尼函数的自变量可以包括三个连续的取值区间，第一速度区间的第一交界点 J 处对应的阻尼函数的二阶导数值可以与第二速度区间的第一交界点 J 处的阻尼函数的二阶导数值不同，第二速度区间的第二交界点 K 处对应的阻尼函数的二阶导数值可以与第三速度区间的第二交界点 K 处的阻尼函数的二阶导数值不同。在一些实施例中，阻尼函数可以存在四个连续的自变量取值区间，第一取值区间与第二取值区间的交界点为第一交界点，第二取值区间与第三取值区间的交界点为第二交界点，第三取值区间与第四取值区间的交界点为第三交界点。阻尼函数的二阶导数可以在第一交界点处以及第三交界点处不连续，阻尼函数的二阶导数可以在第二交界点处连续。

[0136] 参照图 10，在一些实施例中，在阻尼函数的第一速度区间，超过一半的区间范围内的阻尼函数的一阶导数不大于第六预设值；在阻尼函数的第二速度区间，超过一半的区间范围内阻尼函数的一阶导数大于第六预设值；在阻尼函数的第三速度区间，超过一半的区间范围内阻尼函数的一阶导数不大于第六预设值。

[0137] 在一些实施例中，第六预设值可以大于或等于第五预设值。在一些实施例中，第六预设值可以是非负数。在一些实施例中，第五预设值可以为 0，第六预设值的取值范围可以也是 0。在一些实施例中，第六预设值也可以是大于 0 的任意正数。在一些实施例中，在第一速度区间中，超过一半的区间范围内的阻尼函数的一阶导数可以为 0，此时第一速度区间中的阻尼函数可以为常数函数；在第二速度区间中，超过一半的区间范围内的阻尼函数的一阶导数可以大于 0，此时第二速度区间中的阻尼函数可以为递增的二次曲线函数；在第三速度区间中，超过一半的区间范围内的阻尼函数的一阶导数可以为 0，此时第三速度区间中的阻尼函数可以为常数函数。

[0138] 在一些实施例中，阻尼函数还可以基于对象的生物特征确定。在一些实施例中，对象的生物特征可以包括脂肪、关节液等人体特征，阻尼函数可以与脂肪、关节液等的阻尼相同或相近。

[0139] 步骤 920、基于当前速度和当前阻尼确定第二反馈力。在一些实施例中，步骤 920 可以由处理器 130 执行。

[0140] 在一些实施例中，当前速度与当前速度对应的当前阻尼值的乘积可以作为第二反馈力的大

小。在一些实施例中，第二反馈力的方向可以与当前速度的方向相反，即在操作者控制末端工具运动的过程中，末端工具可以向操作者提供与运动方向相反的第二反馈力。在另一些实施例中，第二反馈力的方向可以朝向预设路径，即在操作者控制末端工具远离预设路径运动的过程中，末端工具可以向操作者提供与运动方向相反的第二反馈力，而在操作者控制末端工具朝向预设路径运动的过程中，末端工具可以不提供第二反馈力。在还一些实施例中，第二反馈力的方向可以远离预设路径，即在操作者控制末端工具朝向预设路径运动的过程中，末端工具可以向操作者提供与运动方向相反的第二反馈力，而在操作者控制末端工具远离预设路径运动的过程中，末端工具可以仅提供第一反馈力而不提供第二反馈力。

[0141] 在一些实施例中，由于两个相邻的速度区间对应的阻尼函数在公共边界处的阻尼值相同，因此末端工具在从一个速度区间进入另一速度区间时，其受到的第二反馈力是连续变化的，而非跳变的。该连续变化的第二反馈力有助于提高操作者对末端工具的掌控力，从而提高操作者拖动末端工具运动的准确性。

[0142] 在一些实施例中，由于不同的速度区间对应不同的阻尼函数（或称为不同的函数关系），第二反馈力是基于末端工具的当前速度以及该当前速度对应的当前阻尼值的乘积确定的，而阻尼值是由该当前速度以及该当前速度对应的阻尼函数确定的，因此阻尼函数决定着第二反馈力的变化形式。因此操作者可以根据第二反馈力的变化形式确定末端工具速度范围。

[0143] 需要说明的是，当末端工具同时向操作者提供第一反馈力和第二反馈力时，操作者受到的总反馈力是第一反馈力与第二反馈力的矢量和。因此总反馈力的变化形式是第一反馈力的变化形式与第二反馈力的变化形式的矢量组合，因此操作者可以根据当前总反馈力的变化形式对应的第一反馈力的变化形式与第二反馈力的变化形式的矢量组合所对应的手感，确定出末端工具当前所处的空间区域和速度区间。

[0144] 图 11 是根据本说明书一些实施例所示的施加第二反馈力矩的示例性流程图。如图 11 所示，流程 1100 可以包括下述步骤。在一些实施例中，流程 1100 可以由手术机器人 100 执行。下面呈现的流程 1100 的操作意图是说明性的。在一些实施例中，可以利用一个或以上未描述的附加操作和/或未讨论的一个或以上操作来完成该流程。

[0145] 步骤 1110、获取末端工具的当前角速度以及与当前角速度对应的当前旋转阻尼。在一些实施例中，步骤 1110 可以由处理器 130 执行。

[0146] 在一些实施例中，通过末端工具的当前角速度可以确定对应的旋转阻尼函数，从而确定当前角速度对应的当前旋转阻尼。在一些实施例中，末端工具的允许角速度不超过预设角速度，以免末端工具运动过快导致意外，例如可能与手术对象的开口区域的伤口造成伤害，影响手术效果等。在一些实施例中，预设角速度是指末端工具允许达到的最大角速度值。预设角速度可以由操作者根据实际情况进行确定。

[0147] 在一些实施例中，当前旋转阻尼与末端工具的当前角速度可以具有对应关系。在一些实施例中，对应关系可以是表格形式，一个角速度值或者一个角速度范围可以对应一个旋转阻尼值。在另一些实施例中，对应关系还可以是函数形式，角速度值可以作为函数的自变量，旋转阻尼值可以作为函数的因变量，每个角速度值可以根据函数关系确定一个对应的旋转阻尼值。

[0148] 在一些实施例中，对应关系可以是预先存储在处理器 130 中的，也可以是临时输入的。在一些实施例中，操作者可以查看或修改对应关系。

[0149] 在一些实施例中，当前旋转阻尼可以基于旋转阻尼函数确定。在一些实施例中，旋转阻尼函数的自变量可以是末端工具的当前角速度，通过旋转阻尼函数可以确定与该角速度值对应的当前旋转阻尼。

[0150] 在一些实施例中，旋转阻尼函数可以包括常数函数与单调递增二次曲线函数。在另一些实施例中，旋转阻尼函数还可以包括离散函数。在还一些实施例中，旋转阻尼函数还可以包括其他单调递增的函数，例如三次函数、分段函数等。

[0151] 在一些实施例中，旋转阻尼函数的自变量采用末端工具的当前角速度。在一些实施例中，当前角速度的取值区间可以是最小允许角速度至最大允许角速度。在一些实施例中，最小允许角速度和最大允许角速度可以由操作者根据实际情况设置。在一些实施例中，最小允许角速度可以是 0。在一些实施例中，旋转阻尼函数可以包括分段函数，自变量的不同取值区间对应的旋转阻尼函数不同。例如，旋转阻尼函数可以为常数函数与递增函数交替设置。在一些实施例中，第一取值区间对应的旋转阻尼函数可以为第一常数旋转阻尼函数，第二取值区间对应旋转的阻尼函数可以为递增旋转阻尼函数，第三取值区间对应的旋转阻尼函数可以为第二常数旋转阻尼函数。

[0152] 在一些实施例中，旋转阻尼函数在超过一半的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，旋转阻尼函数在超过 60% 的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，旋转阻尼函数在超过 80% 的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，旋转阻尼函数在超过 90% 的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，旋转阻尼函数在超过 95% 的自变量取值区间内连续。在一些实施例中，旋转阻尼函数在全部自变量取值区间内连续。在一些实施例中，旋转阻尼函数的自变量可以包括三个连续的取值区间。设定第一角速度区间与第二角速度区间的交界点为第一交界点，第二个角速度区间与第三角速度区间的交界点为第二交界点。此时第一角速度区间的第一交界点处对应的旋转阻尼函数值可以与第二角速度区间的第一交界点处的旋转阻尼函数值相同，从而使得旋转阻尼函数可以在第一角速度区间与第二角速度区间内连续。第二角速度区间的第二交界点处对应的旋转阻尼函数值可以与第三角速度区间的第二交界点处的旋转阻尼函数值相同，从而使得旋转阻尼函数可以在第二角速度区间与第三角速度区间内连续。

[0153] 在一些实施例中，旋转阻尼函数的导数可以是 0 或者大于 0 的正数。

[0154] 在一些实施例中，旋转阻尼函数可以包括一个一阶导数不连续点。即，可以存在两个相邻的自变量取值区间，在这两个取值区间的交界点处，旋转阻尼函数的一阶导数不连续，旋转阻尼函数在此交界点处的变化率不一致，旋转阻尼函数在此交界点处的图像的切线斜率不一致。

[0155] 在一些实施例中，旋转阻尼函数可以包括两个二阶导数不连续点。即，可以存在多个不同取值区间之间的两个交界点，在这两个交界点处，旋转阻尼函数的二阶导数不连续，旋转阻尼函数的导数的变化率不一致，旋转阻尼函数的导数图像的切线斜率不一致。

[0156] 在一些实施例中，旋转阻尼函数还可以基于对象的生物特征确定。在一些实施例中，对象的生物特征可以包括脂肪、关节液等人体特征，旋转阻尼函数可以与脂肪、关节液等的旋转阻尼相同或相近。

[0157] 步骤 1120、基于当前速度和当前阻尼确定第二反馈力矩。在一些实施例中，步骤 1120 可以由处理器 130 执行。

[0158] 在一些实施例中，通过当前角速度与当前角速度对应的当前旋转阻尼值可以确定第二反馈力矩。

[0159] 在一些实施例中，由于旋转阻尼函数的自变量的三个取值区间是连续的，因此两个相邻的取值区间所对应的旋转阻尼函数在公共边界处的旋转阻尼值相同，因此末端工具与预设路径之间的角度在从一个取值区间进入另一取值区间时，末端工具受到的第二反馈力矩是连续变化的，而非跳变的。该连续变化的第二反馈力矩有助于提高操作者对末端工具的掌控力，从而提高用户拖动末端工具运动的准确性。

[0160] 在手术过程中，为了使末端工具能够精准地对手术对象进行操作，一般需要保持末端工具的中轴线与操作区域（例如第一预设区域 300、第二预设区域 400 等）的中轴线重合或大致重合。但是在操作前或操作过程中，对象可能会发生移动，从而改变对象的位姿，使得末端工具的中心轴不再与操作区域的中轴线重合或大致重合，对手术效果造成影响。此时，需要根据对象的位姿变化对末端工具的位姿进行调整，以便于手术的进行。需要说明的是，本说明书所述的两个轴线“大致重合”是指，在操作区域范围内，两个轴线之间的最大距离不超过 0.1 毫米。

[0161] 图 12 是根据本说明书一些实施例所示的主动调整末端工具位姿的示例性流程图。如图 12 所示，流程 1200 可以包括下述步骤。在一些实施例中，流程 1200 可以由手术机器人 100 执行。下面呈现的流程 1200 的操作意图是说明性的。在一些实施例中，可以利用一个或以上未描述的附加操作和/或未讨论的一个或以上操作来完成该流程。

[0162] 在一些实施例中，末端工具可以在第二预设区域 400 内进行手术操作，第二预设区域 400 为主动随动区。当手术对象运动之后，第二预设区域 400 跟随对象运动，第二预设区域 400 与对象保持相对静止状态。此时，机械臂装置 110 可以主动控制末端工具产生相应的运动，以使末端工具在第二预设区域 400 内位置不变，即使末端工具在第二预设区域 400 内的位置状态不变，从而使末端工具与对象的相对位置不变，便于手术的进行，降低了手术出现意外的可能性。

[0163] 步骤 1210、获取末端工具的第一初始位姿和对象的位姿偏移量。在一些实施例中，步骤 1210 可以由处理器 130 执行。

[0164] 在一些实施例中，末端工具的第一初始位姿指的是对象运动前的末端工具在第二预设区域 400 内的位姿状态，末端工具的位姿状态可以包括末端工具的参考点相对于对象的目标位置的距离、末端工具的轴线与对象的目标位置的轴线的角度等。在一些实施例中，对象的位姿偏移量指的是对象在运动前后的位姿状态的改变量。在一些实施例中，末端工具的第一初始位姿可以通过定位装置

120 确定。

[0165] 在一些实施例中，定位装置 120 可以包括设置于固定机械臂装置 110 的基座上的第一光学阵列、设置于机械臂装置 110 的第二光学阵列、以及设置于目标对象（例如操作区域）的第三光学阵列。第二光学阵列与机械臂装置 110（末端工具）保持固定的位姿对应关系（即第二光学阵列与末端工具同步运动，相对位置保持不变），第三光学阵列与第二预设区域 400（对象）保持固定的位姿对应关系（即第三光学阵列与对象同步运动，相对位置保持不变）。在一些实施例中，第一光学阵列与基座保持相对固定，可以作为参考坐标系的基准参考点。其中，参考坐标系是指不受末端工具与对象的运动影响的坐标系，即，当末端工具与对象运动时，参考坐标系可以保持不动，末端工具与对象在参考坐标系内运动。在另一些实施例中，作为参考坐标系的基准参考点的第一光学阵列也可以位于手术机器人 100 上其他位置不变的零部件（例如滚轮等），或是周边环境位置不变的物件（例如病床等）。在一些实施例中，第一光学阵列可以作为参考坐标系的参考基准点。有关第一光学阵列、第二光学阵列、第三光学阵列、基座的更多内容可以参照图 20 及其相关描述，在此不再赘述。

[0166] 在一些实施例中，末端工具的第一初始位姿可以通过第二光学阵列确定为 ${}^S T_{\text{marker2_static}}$ 。

[0167] 图 13 是根据本说明书一些实施例所示的确定对象位姿偏移量的示例性流程图。请参照图 13，在一些实施例中，步骤 1210 可以通过如下的子步骤确定对象的位姿偏移量：步骤 1211、获取对象的第二初始位姿和对象的当前位姿；步骤 1212、基于第二初始位姿和当前位姿确定对象的位姿偏移量。

[0168] 在一些实施例中，对象的第二初始位姿指的是对象在位姿发生变化之前的位姿状态。对象的当前位姿指的是对象运动之后当前的位姿状态。对象的位姿偏移量可以理解为对象从第二初始位姿运动至当前位姿的运动量。

[0169] 在一些实施例中，对象的第二初始位姿可以通过第三光学阵列确定为 ${}^S T_{\text{marker3_static}}$ ，对象的当前位姿可以通过第三光学阵列确定为 ${}^S T_{\text{marker3_dynamic}}$ 。在一些实施例中，对象的当前位姿可以是控制器在检测到位姿跟随信号同时检测到对象的当前位姿相较于第二初始位姿发生变化时由第三光学阵列获取的。在一些实施例中，第三光学阵列获取对象的当前位姿的频率大于或等于 250 次/s，以满足末端工具的位姿修正的频率要求（例如，大于或等于 250 次/s）。在一些实施例中，基于下述公式 (1) 可以确定对象的位姿偏移量 ${}^{\text{marker3_static}} T_{\text{maeker3_dynamic}}$ ：

$${}^{\text{marker3_static}} T_{\text{maeker3_dynamic}} = \text{Inverse}({}^S T_{\text{marker3_static}}) \times {}^S T_{\text{marker3_dynamic}} \quad (1)$$

[0170] 其中， $\text{Inverse}({}^S T_{\text{marker3_static}})$ 为对象的第二初始位姿 ${}^S T_{\text{marker3_static}}$ 的逆矩阵。

[0171] 步骤 1220、基于第一初始位姿和位姿偏移量，确定末端工具的目标位姿偏移量。在一些实施例中，步骤 1220 可以由处理器 130 执行。

[0172] 在一些实施例中，基于末端工具的第一初始位姿 ${}^S T_{\text{marker2_static}}$ 与对象的位姿偏移量 ${}^{\text{marker3_static}} T_{\text{maeker3_dynamic}}$ ，可以通过下述公式 (2) 确定末端工具的目标位姿偏移量：

$${}^{\text{tool_static}} T_{\text{tool_dynamic}} = \text{Inverse}({}^{\text{object}} T_{\text{tool}}) * {}^{\text{marker3_static}} T_{\text{maeker3_dynamic}} * {}^{\text{object}} T_{\text{tool}} \quad (2)$$

[0173] 其中， ${}^{\text{object}} T_{\text{tool}}$ 为对象运动前对象与末端工具之间的位姿变化关系，即末端工具的第一初始位姿相对于对象的第二初始位姿的第二位姿对应关系。 $\text{Inverse}({}^{\text{object}} T_{\text{tool}})$ 为 ${}^{\text{object}} T_{\text{tool}}$ 的逆矩阵。第二位姿对应关系 ${}^{\text{object}} T_{\text{tool}}$ 的更多内容可以参照图 14 及其相关描述。

[0174] 图 14 是根据本说明书一些实施例所示的确定末端工具目标位姿偏移量的示例性流程图。请参照图 14，在一些实施例中，步骤 1220 可以通过如下的子步骤确定末端工具的目标位姿偏移量：步骤 1221、基于第一初始位姿和第二初始位姿确定对象与末端工具的第二位姿对应关系；步骤 1222、基于位姿偏移量和第二位姿对应关系，确定目标位姿偏移量。

[0175] 在一些实施例中，末端工具的第一初始位姿相对于对象的第二初始位姿的第二位姿对应关系 ${}^{\text{object}} T_{\text{tool}}$ 可以指末端工具的位姿与对象的位姿之间需要保持的相对关系。

[0176] 在一些实施例中，末端工具的第一初始位姿相对于对象的第二初始位姿的第二位姿对应关系 ${}^{\text{object}} T_{\text{tool}}$ 可以通过公式 (3) 确定：

$${}^{\text{object}} T_{\text{tool}} = \text{Inverse}({}^S T_{\text{marker3_static}}) * {}^S T_{\text{marker2_static}} \quad (3)$$

[0177] 其中， ${}^S T_{\text{marker3_static}}$ 为对象的第二初始位姿， $\text{Inverse}({}^S T_{\text{marker3_static}})$ 为 ${}^S T_{\text{marker3_static}}$ 的逆矩阵， ${}^S T_{\text{marker2_static}}$ 为末端工具的第一初始位姿。

[0178] 在一些实施例中，基于位姿偏移量和第二位姿对应关系，可以通过上述公式 (2) 确定目标位姿偏移量。在一些实施例中，第二位姿对应关系可以在操作者输入记录信号时确定并记录。在一

些实施例中，操作者可以多次输入记录信号来记录多组对象与末端工具的位姿对应关系的数据。在一些实施例中，当需要控制末端工具主动跟随对象时，可以将最新记录的对象与末端工具的位姿对应关系的数据作为第二位姿对应关系。

[0179] 由于根据位姿偏移量和第二位姿对应关系确定的末端工具的目标位姿偏移量，为末端工具从第一初始位姿调整为目标位姿所需的运动量，因此根据目标位姿偏移量控制末端工具运动，即可使末端工具在完成目标位姿偏移量时，将末端工具与对象（第二预设区域 400）的位姿对应关系恢复至对象运动前两者的位姿对应关系。

[0180] 步骤 1230、基于目标位姿偏移量调整末端工具至目标位姿，以控制末端工具主动跟随对象运动。在一些实施例中，步骤 1230 可以由处理器 130 执行。

[0181] 在一些实施例中，确定目标位姿偏移量后，可以控制末端工具运动相应的目标位姿偏移量到达目标位姿，从而使得末端工具主动跟随对象运动，使末端工具与对象的相对位置保持不变，以便于后续手术的进行。

[0182] 由于目标位姿偏移量对应的是末端工具的运动量，而末端工具的运动是由机械臂装置 110 带动的，即处理器 130 是通过控制机械臂装置 110 的运动来带动末端工具的运动。因此，在一些实施例中，可以根据末端工具对应的坐标系与参考坐标系之间的转换关系，将该位姿调整量转换至基准坐标系，从而确定用于携带末端工具的机械臂装置 110 在基准坐标系中的位姿改变量，以及根据该位姿改变量控制机械臂装置 110 带动末端工具运动，以使机械臂装置 110 在完成该位姿改变量的运动时，末端工具完成目标位姿偏移量的运动，到达目标位姿，同时末端工具与对象的位姿对应关系恢复至第二位姿对应关系。

[0183] 在一些实施例中，流程 1200 还可以包括步骤：获取末端工具与参考坐标系的第一位姿对应关系。此时，步骤 1230 可以包括：基于第一位姿对应关系和目标位姿偏移量确定目标位姿。

[0184] 在一些实施例中，末端工具与参考坐标系的第一位姿对应关系可以理解为在对象运动前参考坐标系的参考基准点到末端工具的第一初始位姿的变化关系。在一些实施例中，末端工具与参考坐标系的第一位姿对应关系可以记作 $B_{T_{Tool_static}}$ 。在一些实施例中，第一位姿对应关系 $B_{T_{Tool_static}}$ 可以由手术机器人 100 中机械臂装置 110 的各个关节位置的正运动学推算出。

[0185] 在一些实施例中，机械臂装置 110 的位姿改变量可以通过公式（4）确定：

$$B_{T_{tool_dynamic}} = B_{T_{Tool_static}} * Tool_staticT_{T_{tool_dynamic}} \quad (4)$$

[0186] 其中， $B_{T_{tool_dynamic}}$ 实际上包括 $B_{T_{tool}}$ 和 ${}^{tool}T_{marker2}$ 。 $B_{T_{tool}}$ 为机械臂装置 110 的实际控制量。 ${}^{tool}T_{marker2}$ 用于限定机械臂装置 110 与末端工具之间的运动对应关系。由于机械臂装置 110 带动末端工具的运动方式有多种，因此需要通过该运动对应关系唯一地限定机械臂装置 110 带动末端工具的运动方式，从而通过确定机械臂装置 110 的运动来唯一地确定末端工具的运动，实现通过机械臂装置 110 带动末端工具进行任意所需的位姿调整。需要说明的是， ${}^{tool}T_{marker2}$ 可以提前进行标定，例如手眼标定等。

[0187] 在一些实施例中，控制器或处理器在检测到末端工具完成位姿调整的运动时，输出位姿跟随完成信号。该位姿跟随完成信号可以通过设置于机械臂上的闪烁灯输出，也可以通过与控制器或处理器相连的输出装置输出，本实施例不对位姿完成信号的具体形式进行限定。

[0188] 在一些实施例中，控制器在检测到跟随停止信号时，停止检测并获取主动随动区的当前位姿，此时操作者可以手动调整末端工具的位姿，该调整可以是任意的。

[0189] 在一些实施例中，上述调整过程可以用于髌关节置换手术中。在一些实施例中，末端工具可以包括髌白锉或髌白杯，操作者在对手术的对象进行关节磨锉或准备打杯的过程中，手术机器人 100 可以为操作者提供主动跟随的功能。在一些实施例中，当末端工具位于第二预设区域 400 内时，手术机器人 100 可以提示操作者是否开启主动跟随功能，当操作者选择开启主动跟随功能后，手术机器人 100 即可控制末端工具跟随对象的位姿变化调整自身（即末端工具）的位姿，使得末端工具与对象之间的相对位姿保持不变。在一些实施例中，操作者也可以选择不开启主动跟随功能，此时，手术机器人 100 不会控制末端工具跟随对象的位姿变化。

[0190] 在一些实施例中，末端工具可以为髌白锉或髌白杯，末端工具与对象的初始位姿对应关系（即第二位姿对应关系）可以是末端工具的中心轴与主动随动区的中心轴重合。

[0191] 以下结合髌关节置换手术的不同阶段说明上述主动跟随功能的使用过程。

[0192] 在一些实施例中，在髌关节置换手术的打杯操作之前，可以先使用髌白锉（末端工具）对髌白窝进行磨骨操作，在使用髌白锉对髌白窝进行磨骨操作之前，可以将髌白锉拖动至主动随动区内，然后调整髌白锉的位姿以使髌白锉与髌白窝的位姿对应关系为期望的位姿对应关系，然后做髌

臼窝磨骨的准备工作的准备工作，比如，准备手术器械等。为了防止因患者髌关节位姿在该准备工作期间发生变化，从而导致髌臼锉与髌臼窝之间的位姿对应关系发生变化，用户输入记录信号，控制器或处理器在检测到该记录信号时，根据该记录信号获取髌臼锉和髌臼窝的位姿，并将髌臼锉的位姿作为初始工具位姿（即第一初始位姿），将髌臼窝的位姿作为初始对象位姿（即第二初始位姿），以及将该初始工具位姿和初始对象位姿之间的对应关系作为初始位姿对应关系（即第二位姿对应关系）。在一些实施例中，用户可以通过脚踏机器人的脚踏板输入记录信号，以使控制器根据该记录信号获取髌臼锉的位姿与髌臼窝的位姿。然后通过脚踏板的第二脚踏方式输入位姿跟随信号，控制器根据该位姿跟随信号分别将髌臼锉与髌臼窝的当前位姿作为初始工具位姿与初始对象位姿，将二者之间的位姿对应关系作为初始位姿对应关系，以及确定该初始工具位姿相对于该初始对象位姿的初始位姿偏移量。在检测到髌关节的位姿相对于其初始对象位姿发生变化时，获取髌关节的当前位姿相对于其初始对象位姿的对象位姿偏移量，并根据该初始位姿偏移量和对象位姿偏移量确定末端工具的位姿调整量，以及根据该位姿调整量控制末端工具运动，以使末端工具在该运动完成时，在显示装置上输出用于表示位姿跟随完成的提示信号，此时末端工具与髌关节之间的位姿对应关系恢复至该初始位姿对应关系。

[0193] 在一些实施例中，在髌关节置换手术的打杯操作之前，通常还需要将髌臼杯（末端工具）移动至主动随动区的预设打杯处，髌臼杯在该预设打杯处时，其中心轴与主动随动区的中心轴重合，髌臼杯在达到该预设打杯处时，其中心轴与主动随动区也有可能重合过。控制器在髌臼杯移动至预设打杯处的过程中实时检测髌臼杯与髌臼窝之间的位姿对应关系，在检测到髌臼杯中心轴与髌臼窝中心轴重合时生成记录信号，并根据该记录信号自动记录主动随动区的位姿与末端工具的位姿，以及在检测到医生通过脚踏板输入的位姿跟随信号时，将最新记录的主动随动区的位姿和末端工具的位姿分别作为初始对象位姿和初始工具位姿，以及将该初始对象位姿与初始工具位姿之间的对应关系作为初始位姿对应关系。之后，手术机器人 100 即可自动调整末端工具的位姿，使其跟随对象的位姿变化而变化。在一些实施例中，当主动跟随完成后，输出装置可以输出用于表示位姿跟随完成的提示信号。在一些实施例中，手术机器人 100 还可以在位姿跟随完成后自动执行位姿锁定操作。在一些实施例中，髌臼杯的位姿跟随可以发生在操作者打杯操作的过程中，操作者可以通过敲击髌臼杯敲击柄对髌臼杯执行打杯操作，髌臼杯在被打击之后与髌臼窝发生碰撞，可能导致髌臼窝的位姿发生改变，此时操作者可以开启手术机器人 100 的主动跟随功能。在一些实施例中，在主动跟随完成后，操作者可以根据该提示信号再次执行打杯操作。

[0194] 以下继续以髌关节置换手术为例，对末端工具的另一一些位姿调整过程（尤其是在打杯操作过程中，对髌臼杯的位姿调整过程）进行说明。在一些实施例中，末端工具可以包括髌臼杯，对象可以包括患者的髌臼窝。在一些实施例中，髌臼窝可以为已经完成髌臼窝磨削手术的状态。在髌关节置换手术中，髌臼杯的中轴线与髌臼窝的中轴线需要重合或大致重合。但是在手术中，一般操作者是通过手动控制髌臼杯移动至髌臼窝附近的，很难保证髌臼杯的中轴线与髌臼窝的中轴线重合或大致重合，因此需要对髌臼杯的位姿进行调整，以使髌臼杯的中轴线与髌臼窝的中轴线重合或大致重合。

[0195] 在一些实施例中，定位装置 120 可以检测髌臼杯的位姿，处理器 130 可以判断髌臼杯的位姿是否满足第一预设条件。响应于是，处理器 130 可以校准髌臼杯。

[0196] 在一些实施例中，第一预设条件可以包括两个判断阈值：髌臼杯的中轴线与髌臼窝的中轴线之间的距离阈值，以及髌臼杯的中轴线与髌臼窝的中轴线之间的角度阈值。第一预设条件可以包括两个判断条件：髌臼杯的中轴线与髌臼窝的中轴线之间的距离是否小于距离阈值，以及髌臼杯的中轴线与髌臼窝的中轴线之间的角度是否小于角度阈值。当两个判断条件的结果都为“是”时，可以判断髌臼杯的位姿满足第一预设条件，可以对髌臼杯进行校准。在一些实施例中，距离阈值与角度阈值可以根据实际情况设置。距离阈值与角度阈值的设置可以保证髌臼杯位于髌臼窝附近。若是髌臼杯的中轴线与髌臼窝的中轴线之间的距离大于距离阈值或髌臼杯的中轴线与髌臼窝的中轴线之间的角度大于角度阈值，则可以由操作者重新手动控制，对髌臼杯进行调整，将髌臼杯移动至髌臼窝附近。在一些实施例中，第一预设条件还可以包括髌臼杯的中轴线与髌臼窝的中轴线未重合或未大致重合。在一些实施例中，若操作者通过手动控制髌臼杯移动至髌臼窝附近时，已直接使得髌臼杯的中轴线与髌臼窝的中轴线重合或大致重合，则处理器 130 无需再校准髌臼杯。

[0197] 图 15 是根据本说明书一些实施例所示的校准髌臼杯的示例性流程图，图 16~图 19 是根据本说明书一些实施例所示的髌臼杯的不同位姿示意图。如图 15、图 16~图 19 所示，流程 1500 可以包括下述步骤。在一些实施例中，流程 1500 可以由手术机器人 100 执行。下面呈现的流程 1500 的

操作意图是说明性的。在一些实施例中，可以利用一个或以上未描述的附加操作和/或未讨论的一个或以上操作来完成该流程。

[0198] 步骤 1510、当髌臼杯的受力大于阈值时，检测髌臼杯的受力方向。在一些实施例中，步骤 1510 可以由处理器 130 执行。

[0199] 在一些实施例中，当髌臼杯进入髌臼窝之后，髌臼杯在运动过程中碰触到髌臼窝内壁（如图 16 所示）时会受到碰撞力。在一些实施例中，该碰撞力可以通过设置于机械臂装置 110 的力传感器测量。

[0200] 当髌臼杯的受力大于阈值时，表明髌臼杯已经与髌臼窝内壁接触，无法继续深入。此时可以检测髌臼杯的受力方向，并将髌臼杯的受力方向与髌臼窝的轴线方向进行比较，从而判断髌臼杯在髌臼窝内的位姿，进而方便对髌臼杯的位姿进行调整。

[0201] 步骤 1520、判断髌臼杯的受力方向是否与髌臼窝的轴线平行。在一些实施例中，步骤 1520 可以由处理器 130 执行。

[0202] 需要说明的是，本说明书一些实施例中判断是否平行的条件不必是精确的平行，而是可以包括平行或基本平行。在一些实施例中，基本平行可以是指判断平行的两个方向之间的夹角在 10° 以内。在一些实施例中，基本平行可以是指判断平行的两个方向之间的夹角在 5° 以内。在一些实施例中，当髌臼杯的受力方向与髌臼窝的轴线平行或基本平行（例如，髌臼杯的受力方向与髌臼窝的轴线的夹角在 10° 以内）时，处理器 130 均可判断结果为是，反之则判断结果为否。若步骤 1520 判断结果为否，表明髌臼杯的受力方向与髌臼窝的轴线不平行，则执行步骤 1530。若步骤 1520 判断结果为是，表明髌臼杯的受力方向与髌臼窝的轴线平行，则执行步骤 1550。

[0203] 步骤 1530、执行第一操作。在一些实施例中，步骤 1530 可以由处理器 130 执行。

[0204] 在一些实施例中，第一操作可以用于将髌臼杯的轴线调整至与髌臼窝的轴线重合或大致重合。

[0205] 在一些实施例中，第一操作可以包括：子步骤 1531、调整髌臼杯的轴线方向，使得髌臼杯的轴线与髌臼窝的轴线平行；子步骤 1532、当髌臼杯的轴线与髌臼窝的轴线之间的距离大于阈值时，控制髌臼杯朝向髌臼窝的轴线方向运动，直至髌臼杯的轴线与髌臼窝的轴线重合或大致重合。

[0206] 在一些实施例中，处理器 130 可以控制机械臂装置 110 带动髌臼杯旋转以调整髌臼杯的轴线方向，直至定位装置 130 测得的髌臼杯的位姿状态显示髌臼杯的轴线与髌臼窝的轴线平行，如图 16 与图 17 所示。当髌臼杯的轴线与髌臼窝的轴线平行后，判断髌臼杯的轴线与髌臼窝的轴线之间的距离是否大于阈值。若两者的距离小于或等于阈值，表明髌臼杯的轴线与髌臼窝的轴线之间的距离符合大致重合的条件，此时髌臼杯的轴线与髌臼窝的轴线大致重合。若两者的距离大于阈值，说明髌臼杯的轴线与髌臼窝的轴线距离较远，可以控制髌臼杯朝向髌臼窝的轴线方向运动，直至髌臼杯的轴线与髌臼窝的轴线重合或大致重合，如图 17 与图 19 所示。在髌臼杯朝向髌臼窝的轴线方向运动的过程中，可以执行步骤 1540。

[0207] 步骤 1540、判断髌臼杯朝向髌臼窝的轴线方向运动过程中是否受到阻挡力。在一些实施例中，步骤 1540 可以由处理器 130 执行。

[0208] 在一些实施例中，当髌臼杯朝向髌臼窝的轴线方向运动过程中受到阻挡力时，说明髌臼杯与髌臼窝的内壁产生碰撞，髌臼杯过于深入髌臼窝，此时可以继续执行步骤 1550。当髌臼杯朝向髌臼窝的轴线方向运动过程中未受到阻挡力时，可以控制髌臼杯继续朝向髌臼窝的轴线方向运动，直至髌臼杯的轴线与髌臼窝的轴线重合或大致重合，完成髌臼杯的位姿调整。

[0209] 步骤 1550、执行第二操作。在一些实施例中，步骤 1550 可以由处理器 130 执行。

[0210] 在一些实施例中，在髌臼杯朝向髌臼窝的轴线方向运动过程中，第二操作可以用于将髌臼杯的轴线调整至与髌臼窝的轴线重合或大致重合。

[0211] 在一些实施例中，第二操作可以包括：子步骤 1551、控制髌臼杯沿平行于髌臼窝的轴线方向背离髌臼窝运动；子步骤 1552、当髌臼杯的受力不大于阈值时，控制髌臼杯朝向髌臼窝的轴线方向运动，直至髌臼杯的轴线与髌臼窝的轴线重合或大致重合。

[0212] 在一些实施例中，当髌臼杯过于深入髌臼窝、受力较大时，可以先控制髌臼杯沿平行于髌臼窝的轴线方向背离髌臼窝运动，减小髌臼窝对髌臼杯的压力，如图 17 与图 18 所示。当髌臼杯的受力不大于阈值时，控制髌臼杯朝向髌臼窝的轴线方向运动，直至髌臼杯的轴线与髌臼窝的轴线重合或大致重合，如图 18 与图 19 所示，完成校准。

[0213] 若髌臼杯的受力方向与髌臼窝的轴线平行，当髌臼杯的受力不大于阈值时，处理器 130 可以控制机械臂装置 110 带动髌臼杯朝向髌臼窝的轴线方向运动，直至髌臼杯的轴线与髌臼窝的轴线

重合或大致重合，完成校准。

[0214] 图 20 是根据本说明书一些实施例所示的手术机器人在关节磨锉阶段的示例性结构示意图。如图 20 所示，本说明书还提供一种手术机器人 2000。在一些实施例中，手术机器人 2000 包括机械臂装置 2010、定位装置以及处理器。

[0215] 在一些实施例中，机械臂装置 2010 可以用于控制末端工具运动。在一些实施例中，机械臂装置 2010 还可以向末端工具输出设定的反馈信息。在一些实施例中，机械臂装置 2010 可以包括基座 2011 和臂组件 2012。臂组件 2012 固定于基座 2011，基座 2011 提供支撑安装平台。在一些实施例中，臂组件 2012 远离基座 2011 的一端设置有末端工具 2040。在一些实施例中，臂组件 2012 可以通过连杆 2050 与末端工具 2040 相连，臂组件 2012 通过连杆 2050 带动末端工具 2040 运动。在一些实施例中，连杆 2050 的中心轴可以与末端工具 2040 的中心轴重合。

[0216] 在一些实施例中，连杆 2050 远离末端工具 2040 的一端还包括操作辅助件 2051。在一些实施例中，参见图 20，当手术操作处于关节磨锉阶段时，末端工具 2040 可以是髌白锉，连杆 2050 可以是髌白锉连杆，操作辅助件 2051 可以是髌白锉动力装置。在一些实施例中，当手术操作处于打杯阶段时（图 20 未示出），末端工具 2040 可以为髌白杯，连杆 2050 可以是髌白杯连杆，操作辅助件 2051 可以是髌白杯连杆的端盖，在打杯过程中，操作者可以通过敲击端盖将动力传至髌白杯上，以进行打杯操作。

[0217] 定位装置可以用于获取预设目标的位姿信息。在一些实施例中，预设目标可以包括末端工具、手术对象或其他标记物等。在一些实施例中，定位装置可以用于获取末端工具 2040 的第一位姿信息与对象的第二位姿信息。

[0218] 在一些实施例中，定位装置可以包括定位信息获取结构 2025 和标记物。定位信息获取结构可以与标记物相互配合获取对应的位姿信息。在一些实施例中，标记物可以包括设置于基座 2011 上的第一标记物 2021 和设置于对象上的第三标记物 2023。在一些实施例中，定位装置还可以包括用于指示末端工具 2040 位姿的第二标记物 2022。在一些实施例中，第二标记物 2022 可以设置在末端工具 2040 上。在另一些实施例中，第二标记物 2022 也可以设置在固定末端工具 2040 的机械臂关节上。第一标记物 2021 可以作为参考坐标系的参考基准点，第二标记物 2022 可以用于确定末端工具的位姿信息，第三标记物 2023 可以用于确定对象的位姿信息。

[0219] 在一些实施例中，标记物可以包括光学阵列、电子定位器、电磁定位器、GPS 定位器、陀螺仪、加速度传感器中的至少一种。在一些实施例中，当标记物包括光学阵列时，第一标记物 2021 可以为第一光学阵列，第二标记物 2022 可以为第二光学阵列，第三标记物 2023 可以为第三光学阵列，此时定位信息获取结构 2025 可以相应的包括光学相机。

[0220] 在一些实施例中，处理器可以通过定位装置获取末端工具 2040 的位姿信息，并基于该位姿信息控制机械臂装置 2010 向操作者提供第一反馈信息。在一些实施例中，处理器可以控制机械臂装置 2010 的运动从而控制机械臂装置 2010 及末端工具的位姿。在一些实施例中，处理器的数量可以是一个或多个。

[0221] 在一些实施例中，手术机器人 2000 还可以包括存储器、输入装置以及输出装置 2060。在一些实施例中，处理器、存储器、输入装置以及输出装置可以通过总线或其他方式连接。

[0222] 存储器作为一种计算机可读存储介质，可用于存储软件程序、计算机可执行程序以及模块，如本说明书中的流程 200 对应的程序指令/模块（例如，距离刚度函数确定模块和第一反馈力输出模块）。处理器通过运行存储在存储器中的软件程序、指令以及模块，从而执行设备的各种功能应用以及数据处理。

[0223] 在一些实施例中，存储器可主要包括存储程序区和存储数据区。存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需的应用程序；存储数据区可存储根据终端的使用所创建的数据等。在一些实施例中，存储器可以包括高速随机存取存储器，也可以包括非易失性存储器，例如至少一个磁盘存储器件、闪存器件、或其他非易失性固态存储器件等。在一些实施例中，存储器还可以包括相对于处理器远程设置的存储器，这些远程存储器可以通过网络连接至设备。上述网络的实例包括但不限于互联网、企业内部网、局域网、移动通信网及其组合。

[0224] 输入装置可用于接收输入的数字或字符信息，以及产生与设备的用户设置以及功能控制有关的键信号输入。

[0225] 输出装置 2060 可以用于输出各种警示信息，例如当末端工具 2040 未按照预设路径脱离第一预设区域 300 时发出的警示信息。在一些实施例中，输出装置 2060 还可以用于输出末端工具 2040 与第二预设区域 400 和/或第一预设区域 300 之间的位姿对应关系。在一些实施例中，输出装置 2060

还可以用于输出定位装置确定的各个位姿信息，例如末端工具 2040 的位姿信息等。在一些实施例中，输出装置 2060 还可以用于输出末端工具 2040 位姿调整完成的信号。在一些实施例中，输出装置 2060 可以包括显示器，输出装置 2060 输出的各种警示信息可以通过显示器进行显示。

[0226] 在一些实施例中，输出装置 2060 还可以输出第一预设区域 300 和/或第二预设区域 400（或约束空间及其子约束空间），操作者可以从输出装置 2060 的显示器中观察并确认末端工具在第一预设区域 300 和/或第二预设区域 400（或约束空间及其子约束空间）中所处的具体位置。

[0227] 图 21 是根据本说明书一些实施例所示的末端工具运动引导方法的示例性流程图。如图 21 所示，本说明书还提供一种如流程 2100 所示的末端工具的运动引导方法，该方法可以实现对末端工具的位置引导及运动方向的引导，通过末端工具的位置引导与运动方向引导优化末端工具的运动路径，从而提高骨科手术的速度、安全性和准确性。本说明书还提供一种用于上述方法的手术机器人。在一些实施例中，上述方法可以由该手术机器人执行。

[0228] 在一些实施例中，该手术机器人可以包括机械臂装置、定位装置以及处理器。在一些实施例中，机械臂装置可以用于在外力作用下带动末端工具运动。在一些实施例中，机械臂装置可以向末端工具输出反馈力。在一些实施例中，定位装置可以用于获取末端工具在约束空间中的当前位置，其中约束空间的中心轴为末端工具的预设路径，约束空间可以包括嵌套在一起的至少两个子约束空间。在一些实施例中，处理器可以用于通过定位装置检测末端工具的当前位置。在一些实施例中，若末端工具的当前位置未在约束空间的预设路径上，处理器可以确定末端工具的当前位置对应的子约束空间以及该子约束空间对应的距离刚度函数。在一些实施例中，处理器可以根据当前位置以及当前位置对应的距离刚度函数，通过机械臂装置向末端工具输出朝向预设路径的第一反馈力。

[0229] 在一些实施例中，机械臂装置可以参照图 20 所示的手术机器人 2000 的机械臂装置 2010，定位装置可以参照图 20 所示的手术机器人 2000 的定位装置，处理器可以参照图 20 所示的手术机器人 2000 的处理器，在此不再赘述。

[0230] 在一些实施例中，流程 2100 主要包括以下步骤。

[0231] 步骤 2110、检测末端工具的当前位置，若末端工具的当前位置未在约束空间的预设路径上，则确定末端工具的当前位置对应的子约束空间以及该子约束空间对应的距离刚度函数。

[0232] 在一些实施例中，约束空间可以包括同向嵌套的两个或两个以上子约束空间，且每个子约束空间的中心轴重合。其中，子约束空间的确定方法包括：根据预设各个子约束空间的有效半径范围的比例，将约束空间从内到外划分为两层或两层以上，并将每一层作为一个子约束空间。在一些实施例中，可以将约束空间划分为三层，即将约束空间划分为三个子约束空间。该三个子约束空间从内到外分别是自由约束空间、缓冲约束空间和边界约束空间。在一些实施例中，可以为不同子约束空间配置不同的距离刚度函数，其中，距离刚度函数为常数函数或递增函数。距离刚度函数为常数函数的子约束空间与距离刚度函数为递增函数的子约束空间交替设置。在一些实施例中，相邻子约束空间对应的距离刚度函数在共同边界处的距离刚度值相同。在一些实施例中，自由约束空间对应的距离刚度函数为第一常数刚度函数；位于约束空间中间层的缓冲约束空间对应的距离刚度函数为单调递增的二次曲线；位于约束空间最外层的边界约束空间对应的距离刚度函数为第二常数刚度函数。约束空间的结构可以参照图 3 所示的第一预设区域 300 及图 4 所示的第二预设区域 400 的结构，在此不再赘述。

[0233] 步骤 2120、根据当前位置以及当前位置对应的距离刚度函数，向末端工具输出朝向预设路径的第一反馈力。

[0234] 在一些实施例中，在确定了末端工具的当前位置以及当前位置对应的距离刚度函数后，确定当前位置对应的距离刚度值，并将该当前位置对应的目标距离与该距离刚度值乘积作为第一反馈力的绝对值，以及向末端工具输出朝向预设路径的第一反馈力。优选地，该第一反馈力的方向垂直且朝向预设路径。

[0235] 在一个实施例中，在确定了末端工具的当前位置以及当前位置对应的距离刚度函数后，确定当前位置与预设路径之间的目标距离，以及该目标距离对应的目标距离当量；根据该目标距离当量以及该当前位置对应的距离刚度函数，确定当前位置对应的距离刚度值；根据目标距离当量与距离刚度值确定第一反馈力的绝对值，并向末端工具输出朝向预设路径的第一反馈力。

[0236] 在一些实施例中，流程 2100 的各步骤可以参照流程 200 及图 2~图 11 的相关描述，在此不再赘述。

[0237] 本说明书一些实施例还提供一种末端工具运动引导装置，该装置用于执行上述任意实施例所提供的末端工具运动引导方法，该装置可选为软件或硬件实现。在一些实施例中，末端工具运动

引导装置可以包括：距离刚度函数确定模块和第一反馈力输出模块。

[0238] 在一些实施例中，距离刚度函数确定模块可以用于检测末端工具的当前位置，若末端工具的当前位置未在约束空间的预设路径上，则确定所述末端工具的当前位置对应的子约束空间以及该子约束空间对应的距离刚度函数，其中，所述约束空间的中心轴为所述末端工具的期望路径，所述约束空间包括同向嵌套的至少两个子约束空间。

[0239] 在一些实施例中，第一反馈力输出模块可以用于根据所述当前位置以及所述当前位置对应的距离刚度函数，向所述末端工具输出朝向所述期望路径的第一反馈力。在一些实施例中，第一反馈力输出模块还可以用于确定所述当前位置与所述预设路径之间的目标距离，以及该目标距离对应的目标距离当量（即当前距离当量）；根据所述目标距离当量以及所述当前位置对应的距离刚度函数，确定所述当前位置对应的距离刚度值；根据所述目标距离当量与所述距离刚度值，向所述末端工具输出朝向所述预设路径的第一反馈力。

[0240] 在一些实施例中，末端工具运动引导装置还可以包括角度刚度函数确定模块，用于在检测到所述末端工具与所述预设路径之间的当前夹角大于零时，确定所述当前夹角所在夹角区间对应的角度刚度函数，其中，夹角区间的数量大于或等于2。在一些实施例中，所述夹角区间的数量为3；包含最大夹角的夹角区间与包含最小夹角的夹角区间对应的角度刚度函数均为常数函数，位于该包含最大夹角的夹角区间与该包含最小夹角的夹角区间之间的夹角区间对应的角度刚度函数为递增函数；相邻夹角区间对应的角度刚度函数在共同边界处的角度刚度值相同。

[0241] 在一些实施例中，末端工具运动引导装置还可以包括旋转力矩输出模块，用于根据所述当前夹角以及所述当前夹角对应的角度刚度函数向所述末端工具输出用于使所述末端工具向所述预设路径旋转的旋转力矩（例如，第一反馈力矩）。

[0242] 在一些实施例中，末端工具运动引导装置还可以包括阻尼函数确定模块，用于在检测到所述末端工具的当前运动速度的方向背离所述预设路径时，确定所述当前运动速度对应的速度区间以及该速度区间对应的阻尼函数。在一些实施例中，包含最大允许速度的速度区间与包含最小允许速度的速度区间对应的阻尼函数均为常数函数，位于该包含最大允许速度的速度区间与该包含最小允许速度的速度区间之间的速度区间对应的阻尼函数为递增函数；相邻速度区间对应的阻尼函数在共同边界处的阻尼值相同。

[0243] 在一些实施例中，末端工具运动引导装置还可以包括第二反馈力输出模块，用于根据所述当前运动速度以及所述当前运动速度对应的阻尼函数向所述末端工具输出朝向所述预设路径的第二反馈力。

[0244] 在一些实施例中，末端工具运动引导装置还可以包括警示模块，用于在检测到所述末端工具的特征点位于所述约束空间的外边界时，对所述末端工具执行制动操作，并输出第一警示信息。其中，所述末端工具的目标位置为缓冲约束空间的顶端。

[0245] 本说明书一些实施例提供的末端工具运动引导装置的技术方案，通过刚度距离函数确定模块检测末端工具的当前位置，若末端工具当前未在约束空间的预设路径上，则确定末端工具的当前位置对应的子约束空间以及该子约束空间对应的距离刚度函数；通过第一反馈力输出模块根据当前位置以及当前位置对应的距离刚度函数，向末端工具输出朝向预设路径的第一反馈力；由于约束空间包括嵌套在一起的至少两个子约束空间，不同子约束空间对应不同的距离刚度函数，因此末端工具在不同子约束空间内所受到的第一反馈力的变化形式不同，因此可使用户根据第一反馈力的变化形式确定末端工具当前所处的子约束空间，即末端工具当前在约束空间内的大致位置，实现了对末端工具的位置引导；还可使用户根据第一反馈力的方向确定末端工具的移动方向，实现了对末端工具运动方向的引导，通过末端工具的位置引导与运动方向引导优化末端工具的运动路径，从而提高骨科手术的速度、安全性和准确性。

[0246] 图22是根据本说明书一些实施例所示的末端工具位姿实时修正方法的示例性流程图，图23是根据本说明书一些实施例所示的手术机器人的另一示例性模块结构示意图。如图22与图23所示，本说明书还提供一种如流程2200所示的末端工具位姿的实时修正方法以及如图23所示的手术机器人2300。该方法有助于提高末端工具位姿调整的效率和准确性，从而提高关节置换术的效率和成功率。在一些实施例中，该方法可以控制手术机器人2300根据髌关节的位姿变化实时修正末端工具的位姿，从而将末端工具与髌臼窝之间的位姿对应关系恢复至初始的第二位姿对应关系。在一些实施例中，流程2200可以由手术机器人2300的控制器2330来执行。在一些实施例中，控制器2330可以是设置在手术机器人2300内部或外部的处理器、服务器或其它计算设备。在一些实施例中，控制器2330可以采用软件和/或硬件的方式实现。

[0247] 在一些实施例中，手术机器人 2300 主要包括第一姿态获取装置 2310、第二姿态获取装置 2320 以及控制器 2330。在一些实施例中，第一姿态获取装置 2310 可以设置于对象上并与对象保持固定的对应关系，以用于获取对象的位姿。在一些实施例中，第二姿态获取装置 2320 可以设置于用于携带末端工具运动的机械臂或末端工具上，以用于获取末端工具的位姿。在一些实施例中，控制器 2330 可以用于获取末端工具与参考坐标系的第一位姿对应关系。在一些实施例中，控制器 2330 还可以用于获取末端工具与对象的第二位姿对应关系。在一些实施例中，控制器 2330 还可以用于在检测到对象的位姿发生变化时，获取对象位姿偏移量。在一些实施例中，控制器 2330 还可以用于根据第一位姿对应关系和对象位姿偏移量控制末端工具运动，使末端工具与对象的位姿对应关系恢复至第二位姿对应关系。

[0248] 在一些实施例中，第一姿态获取装置 2310 与第二姿态获取装置 2320 可以参照图 20 所示的手术机器人 2000 的定位装置，控制器 2330 可以参照图 20 所示的手术机器人 2000 的处理器，在此不再赘述。

[0249] 在一些实施例中，流程 2200 主要包括以下步骤。

[0250] 步骤 2210、获取末端工具与参考坐标系的第一位姿对应关系，以及末端工具与对象的第二位姿对应关系。

[0251] 步骤 2220、检测到对象的位姿发生变化时，获取对象位姿偏移量。

[0252] 步骤 2230、根据第一位姿对应关系和对象位姿偏移量控制末端工具运动，使末端工具与对象的位姿对应关系恢复至第二位姿对应关系。

[0253] 在一些实施例中，流程 2200 的各步骤可以参照流程 1200 及图 12~图 14 的相关描述，在此不再赘述。

[0254] 图 24 是根据本说明书一些实施例所示的自动调整髌臼杯位姿方法的示例性流程图，图 25 是根据本说明书一些实施例所示的手术机器人的另一示例性模块结构示意图。如图 24 与图 25 所示，本说明书还提供一种如流程 2400 所示的自动调整髌臼杯位姿的方法以及如图 25 所示的手术机器人 2500。该方法可以大大减少髌臼杯的位姿调整时间，而且能够将髌臼杯调整至最佳打杯位姿，有助于提高髌臼杯安装术的成功率。在一些实施例中，该方法可以通过髌臼杯的当前位姿信息与髌臼窝的当前位姿信息调整髌臼杯的位姿，以使髌臼杯位于预设打杯处时，其中心轴与髌臼窝中心轴重合。在一些实施例中，流程 2400 可以由手术机器人 2500 的控制器 2530 来执行。在一些实施例中，控制器 2530 可以是设置在手术机器人 2300 内部或外部的处理器、服务器或其它计算设备。在一些实施例中，控制器 2530 可以采用软件和/或硬件的方式实现。

[0255] 在一些实施例中，手术机器人 2500 主要包括运动模块 2510、位姿获取模块 2520 以及控制器 2530。在一些实施例中，运动模块 2510 可以包括机械臂，用于带动髌臼杯运动。在一些实施例中，位姿获取模块 2520 可以包括髌臼杯位姿单元和髌臼窝位姿单元。在一些实施例中，位姿获取模块 2520 可以通过髌臼杯位姿单元实时获取髌臼杯的当前位姿信息，在一些实施例中，位姿获取模块 2520 可以通过髌臼窝位姿单元实时获取对象的髌臼窝的当前位姿信息。在一些实施例中，控制器 2530 可以用于根据髌臼杯的当前位姿信息和髌臼窝的当前位姿信息，调整髌臼杯的位姿，以使髌臼杯的中心轴与髌臼窝的中心轴重合。

[0256] 在一些实施例中，运动模块 2510 可以参照图 20 所示的手术机器人 2000 的机械臂装置 2010，位姿获取模块 2520 可以参照图 20 所示的手术机器人 2000 的定位装置，控制器 2530 可以参照图 20 所示的手术机器人 2000 的处理器，在此不再赘述。

[0257] 在一些实施例中，流程 2400 主要包括以下步骤。

[0258] 步骤 2410、控制髌臼杯从当前位置向预设打杯处运动，并实时检测位姿调整信号，以及在检测到位姿调整信号时，获取髌臼杯的当前位姿信息与目标对象的髌臼窝的当前位姿信息，其中，预设打杯处位于髌臼窝中。

[0259] 在一些实施例中，目标对象（也称为对象）可以为当前接收髌臼杯安装术的患者。在一些实施例中，目标对象可以是已经完成髌臼窝磨削手术并等待髌臼杯打入的患者。在一些实施例中，预设打杯处为医生术前确定的打杯位置，其中心接近髌臼窝的中心。

[0260] 在一些实施例中，位姿调整信号可以由外力触发的，该外力为髌臼杯在向预设打杯处的运动过程中碰触到髌臼窝内壁时受到的碰撞力。在一些实施例中，在通过设置于机械臂上的力传感器检测到髌臼杯因碰触到髌臼窝内壁受到外力时，生成位姿调整信号，并根据该位姿调整信号获取髌臼杯的当前位姿信息与目标对象的髌臼窝的当前位姿信息。通过先运动，再基于外力生成位姿调整信号的方式，实现了先对髌臼杯进行纵向调整，然后通过位姿调整信号以及后续步骤对髌臼杯进

行横向上的重合度调整,实现了自动调整髌臼杯位姿的。

[0261] 在一些实施例中,在控制髌臼杯从当前位置向预设打杯处运动,并实时检测位姿调整信号之前,获取髌臼杯的当前位姿信息以及目标对象的髌臼窝的当前位姿信息;根据髌臼杯的当前位姿信息和髌臼窝的当前位姿信息调整髌臼杯的位姿,以使髌臼杯的中心轴与髌臼窝的中心轴重合。在对髌臼杯进行纵向调整之前,先对髌臼杯进行横向的重合度调整,以使髌臼杯在首次运动起始时,其中心轴与髌臼窝中心轴是平行的,有助于增加髌臼杯在首次运动过程中的纵向运动量。在一些实施例中,使髌臼杯的中心轴与髌臼窝的中心轴重合的方法可以包括:根据髌臼杯的当前位姿信息和髌臼窝的当前位姿信息调整髌臼杯的位姿,以使髌臼杯的中心轴与髌臼窝的中心轴平行,以更新髌臼杯的当前位姿信息;根据更新后的髌臼杯的当前位姿信息调整髌臼杯的中心轴在预设方向上的位置,以使髌臼杯的中心轴与髌臼窝的中心轴重合,其中,预设方向为垂直于髌臼窝中心轴的方向。

[0262] 在一些实施例中,位姿调整信号是在检测到髌臼杯运动完预设步长时生成的,该预设步长小于预设打杯处与髌臼窝内壁的最小距离。具体地,设定髌臼杯当前与预设打杯处之间的距离为H,H等于8个预设步长。对髌臼杯进行位姿调整,以使其中心轴与髌臼窝中心轴重合,然后控制位姿调整后的髌臼杯以预设步长向预设打杯处运动,且在检测到其每运动完预设步长时生成位姿调整信号,并根据该位姿调整信号获取髌臼杯的当前位姿信息与目标对象的髌臼窝的当前位姿信息。先对髌臼杯执行横向的重合度调整,然后对髌臼杯进行纵向位置调整,再基于位姿调整信号对髌臼杯进行后续的重合度调整,实现了髌臼杯的实时位姿修正。

[0263] 在一些实施例中,自动调整髌臼杯位姿的模式由位姿随动信号触发,该位姿随动信号由医生通过踩踏该手术机器人的脚踏板来产生。在一些实施例中,当医生将髌臼杯拖动至髌臼窝附近,且需要手术机器人自动执行髌臼杯的位姿调整时,踩踏手术机器人的脚踏板,控制器根据脚踏板的动作信息生成位姿随动信号。相应的,当医生需要终止自动调整髌臼杯位姿的模式时,还可以通过踩踏脚踏板来生成位姿随动终止信号。当然,用于生成位姿随动信号的脚踏板踩踏方式与用于生成位姿随动终止信号的脚踏板踩踏方式和/或踩踏时机不同。

[0264] 需要说明的是,基于不同触发方式生成的位姿调整信号对应不同的自动调整模式,不同的自动调整模式需要不同的位姿随动信号来触发,不同的位姿随动信号可通过不同的脚踏板踩踏方式生成。

[0265] 步骤2420、根据髌臼杯的当前位姿信息和髌臼窝的当前位姿信息调整髌臼杯的位姿,以使髌臼杯的中心轴与髌臼窝的中心轴重合。

[0266] 在一些实施例中,根据髌臼杯的当前位姿信息和髌臼窝的当前位姿信息调整髌臼杯的位姿,以使髌臼杯的中心轴与髌臼窝的中心轴平行,以更新髌臼窝的当前位姿信息;根据更新后的髌臼杯的当前位姿信息调整髌臼杯的中心轴在预设方向上的位置,以使髌臼杯的中心轴与髌臼窝的中心轴重合。用于完成髌臼杯在横向上的重合度调整。其中,预设方向为垂直于髌臼窝中心轴的方向。

[0267] 步骤2430、如果位姿调整后的髌臼杯未处于预设打杯处,则重复执行上述步骤2410与步骤2420。

[0268] 在一些实施例中,流程2400的各步骤可以参照流程1500及图15~图19的相关描述,在此不再赘述。

[0269] 在一些实施例中,对于位姿调整信号是由外力触发的情况。在一些实施例中,控制机械臂带动髌臼杯向预设打杯处运动,直至检测到髌臼杯因碰触到髌臼窝内壁时受到的外力。根据该外力生成位姿调整信号,以及根据该位姿调整信号获取髌臼杯的当前位姿信息与目标对象的髌臼窝的当前位姿信息,以及根据髌臼杯的当前位姿信息和髌臼窝的当前位姿信息调整髌臼杯的位姿,以使髌臼杯的中心轴与髌臼窝的中心轴重合。然后检测位姿调整后的髌臼杯当前是否位于预设打杯处;若是,则锁定髌臼杯的当前位姿;若否,则继续控制机械臂带动髌臼杯向预设打杯处运动,直至再次检测到髌臼杯因碰触到髌臼窝内壁时受到的外力。根据该外力生成位姿调整信号,以及根据该位姿调整信号获取髌臼杯的当前位姿信息与目标对象的髌臼窝的当前位姿信息,以及根据髌臼杯的当前位姿信息和髌臼窝的当前位姿信息调整髌臼杯的位姿,以使髌臼杯的中心轴与髌臼窝的中心轴重合。检测位姿调整后的髌臼杯当前是否位于预设打杯处;若是,则锁定髌臼杯的当前位姿;若否,则重复执行上述步骤,直至位姿调整后的髌臼杯处于预设打杯处。

[0270] 在一些实施例中,对于位姿调整信号是在检测到髌臼杯运动完成预设步长时生成的情况。在一些实施例中,控制机械臂带动位姿调整后的髌臼杯向预设打杯处运动,在检测到机械臂带动髌臼杯运动完一个预设步长时生成位姿调整信号,并根据该位姿调整信号调整髌臼杯的当前位姿,以使位姿调整后的髌臼杯的中心轴与髌臼窝的中心轴重合。检测位姿调整后的髌臼杯是否位于预设打

杯处；若是，则锁定髌臼杯的当前位姿；若否，则带动位姿调整后的髌臼杯继续向预设打杯处运动一个预设步长。在运动完一个预设步长时生成位姿调整信号，以及根据该位姿调整信号对髌臼杯的当前位姿进行位姿调整，以使位姿调整后的髌臼杯的中心轴与髌臼窝的中心轴重合。检测位姿调整后的髌臼杯是否位于预设打杯处；若是，则锁定髌臼杯的当前位姿；若否，则重复执行上述步骤，直至位姿调整后的髌臼杯处于预设打杯处。

[0271] 在一些实施例中，设定预设打杯处的坐标为原点坐标，预设打杯处至髌臼窝开口处的方向为正向。如果位姿调整后的髌臼杯的纵向坐标小于预设打杯处的纵向坐标，则控制机械臂带动髌臼杯向髌臼窝开口方向运动；如果位姿调整后的髌臼杯的纵向坐标大于预设打杯处的纵向坐标，则控制机械臂带动髌臼杯向髌臼窝底部方向运动。

[0272] 在一些实施例中，可以通过一种自动调整模式控制髌臼杯运动至预设打杯处，且处于预设打杯处的髌臼杯中心轴与髌臼窝中心轴重合。在另一些实施例中，也可以通过两种自动调整模式相结合的方式控制髌臼杯运动至预设打杯处，且处于预设打杯处的髌臼杯的中心轴与髌臼窝中心轴重合。在一些实施例中，可以先通过由外力触发位姿调整信号的自动调整模式，使髌臼杯运动至预设打杯处附近，然后通过基于预设步长生成位姿调整信号的自动调整模式，控制髌臼杯从预设打杯处附近运动至预设打杯处，且其中心轴与髌臼窝中心轴重合。在一些实施例中，当通过外力触发位姿调整信号的自动调整模式，使髌臼杯运动至预设打杯处附近时，髌臼杯会在预设打杯处附近做往返运动，因此在检测到髌臼杯在预设打杯处开始做往返运动时，可以将当前的自动调整模式切换成基于预设步长生成位姿调整信号的自动调整模式。

[0273] 在一些实施例中，在检测到位姿调整后的髌臼杯处于预设打杯处时，可以通过位姿锁定指令锁定机械臂的位姿，从而锁定髌臼杯的位姿，这样即可方便对位姿锁定后的髌臼杯执行打杯操作。

[0274] 上文已对基本概念做了描述，显然，对于本领域技术人员来说，上述详细披露仅仅作为示例，而并不构成对本申请的限定。虽然此处并没有明确说明，本领域技术人员可能会对本申请进行各种修改、改进和修正。该类修改、改进和修正在本申请中被建议，所以该类修改、改进、修正仍属于本申请示范实施例的精神和范围。

[0275] 同时，本申请使用了特定词语来描述本申请的实施例。如“一个实施例”、“一实施例”、和/或“一些实施例”意指与本申请至少一个实施例相关的某一特征、结构或特点。因此，应强调并注意的是，本说明书中在不同位置两次或多次提及的“一实施例”或“一个实施例”或“一个替代性实施例”并不一定是指同一实施例。此外，本申请的一个或多个实施例中的某些特征、结构或特点可以进行适当的组合。

[0276] 此外，本领域技术人员可以理解，本申请的各方面可以通过若干具有可专利性的种类或情况进行说明和描述，包括任何新的和有用的工序、机器、产品或物质的组合，或对他们的任何新的和有用的改进。相应地，本申请的各个方面可以完全由硬件执行、可以完全由软件（包括固件、常驻软件、微码等）执行、也可以由硬件和软件组合执行。以上硬件或软件均可被称为“数据块”、“模块”、“引擎”、“单元”、“组件”或“系统”。此外，本申请的各方面可能表现为位于一个或多个计算机可读介质中的计算机产品，该产品包括计算机可读程序编码。

[0277] 计算机存储介质可能包含一个内含有计算机程序编码的传播数据信号，例如在基带上或作为载波的一部分。该传播信号可能有多种表现形式，包括电磁形式、光形式等，或合适的组合形式。计算机存储介质可以是除计算机可读存储介质之外的任何计算机可读介质，该介质可以通过连接至一个指令执行系统、装置或设备以实现通讯、传播或传输供使用的程序。位于计算机存储介质上的程序编码可以通过任何合适的介质进行传播，包括无线电、电缆、光纤电缆、RF、或类似介质，或任何上述介质的组合。

[0278] 本申请各部分操作所需的计算机程序编码可以用任意一种或多种程序语言编写，包括面向对象编程语言如 Java、Scala、Smalltalk、Eiffel、JADE、Emerald、C++、C#、VB.NET、Python 等，常规程序化编程语言如 C 语言、Visual Basic、Fortran 2003、Perl、COBOL 2002、PHP、ABAP，动态编程语言如 Python、Ruby 和 Groovy，或其他编程语言等。该程序编码可以完全在用户计算机上运行、或作为独立的软件包在用户计算机上运行、或部分在用户计算机上运行部分在远程计算机运行、或完全在远程计算机或服务器上运行。在后种情况下，远程计算机可以通过任何网络形式与用户计算机连接，比如局域网（LAN）或广域网（WAN），或连接至外部计算机（例如通过因特网），或在云计算环境中，或作为服务使用如软件即服务（SaaS）。

[0279] 此外，除非权利要求中明确说明，本申请所述处理元素和序列的顺序、数字字母的使用、或其他名称的使用，并非用于限定本申请流程和方法的顺序。尽管上述披露中通过各种示例讨论了

一些目前认为有用的发明实施例，但应当理解的是，该类细节仅起到说明的目的，附加的权利要求并不仅限于披露的实施例，相反，权利要求旨在覆盖所有符合本申请实施例实质和范围的修正和等价组合。例如，虽然以上所描述的系统组件可以通过硬件设备实现，但是也可以只通过软件的解决方案得以实现，如在现有的服务器或移动设备上安装所描述的系统。

[0280] 同理，应当注意的是，为了简化本申请披露的表述，从而帮助对一个或多个发明实施例的理解，前文对本申请实施例的描述中，有时会将多种特征归并至一个实施例、附图或对其的描述中。但是，这种披露方法并不意味着本申请对象所需要的特征比权利要求中提及的特征多。实际上，实施例的特征要少于上述披露的单个实施例的全部特征。

[0281] 一些实施例中使用了描述成分、属性数量的数字，应当理解的是，此类用于实施例描述的数字，在一些示例中使用了修饰词“大约”、“近似”或“大体上”来修饰。除非另外说明，“大约”、“近似”或“大体上”表明所述数字允许有±20%的变化。相应地，在一些实施例中，说明书和权利要求中使用的数值参数均为近似值，该近似值根据个别实施例所需特点可以发生改变。在一些实施例中，数值参数应考虑规定的有效数位并采用一般位数保留的方法。尽管本申请一些实施例中用于确认其范围广度的数值域和参数为近似值，在具体实施例中，此类数值的设定在可行范围内尽可能精确。

[0282] 针对本申请引用的每个专利、专利申请、专利申请公开物和其他材料，如文章、书籍、说明书、出版物、文档等，特此将其全部内容并入本申请作为参考。与本申请内容不一致或产生冲突的申请历史文件除外，对本申请权利要求最广范围有限制的文件（当前或之后附加于本申请中的）也除外。需要说明的是，如果本申请附属材料中的描述、定义、和/或术语的使用与本申请所述内容有不一致或冲突的地方，以本申请的描述、定义和/或术语的使用为准。

[0283] 最后，应当理解的是，本申请中所述实施例仅用以说明本申请实施例的原则。其他的变形也可能属于本申请的范围。因此，作为示例而非限制，本申请实施例的替代配置可视为与本申请的教导一致。相应地，本申请的实施例不仅限于本申请明确介绍和描述的实施例。

权利要求书

- 1、一种手术机器人控制方法，包括：
获取末端工具的位姿信息；
基于所述位姿信息向操作者提供第一反馈信息。
- 2、根据权利要求1所述的方法，其中，所述基于所述位姿信息向操作者提供第一反馈信息包括：
基于所述位姿信息向所述操作者施加第一反馈力。
- 3、根据权利要求2所述的方法，其中，所述第一反馈力基于所述位姿信息非线性变化。
- 4、根据权利要求3所述的方法，其中，所述基于所述位姿信息向所述操作者施加第一反馈力包括：
获取所述末端工具的当前位置和当前刚度，基于所述当前位置和所述当前刚度确定所述第一反馈力；
基于所述末端工具的运动方向向所述操作者施加所述第一反馈力。
- 5、根据权利要求4所述的方法，其中，所述当前刚度与所述当前位置具有对应关系。
- 6、根据权利要求5所述的方法，其中，所述当前刚度基于距离刚度函数确定。
- 7、根据权利要求6所述的方法，其中，所述距离刚度函数在超过一半的自变量取值区间内连续。
- 8、根据权利要求7所述的方法，其中，所述距离刚度函数的导数不小于第一预设值。
- 9、根据权利要求8所述的方法，其中，所述距离刚度函数包括一个一阶导数不连续点。
- 10、根据权利要求8所述的方法，其中，所述距离刚度函数包括两个二阶导数不连续点。
- 11、根据权利要求8所述的方法，其中，在所述距离刚度函数的自变量的第一取值区间，至少超过一半的区间范围内刚度函数的一阶导数不大于第二预设值；在所述距离刚度函数的自变量的第二取值区间，至少超过一半的区间范围内刚度函数的一阶导数大于第二预设值；在所述距离刚度函数的自变量的第三取值区间，至少超过一半的区间范围内刚度函数的一阶导数不大于第二预设值。
- 12、根据权利要求11所述的方法，其中，所述距离刚度函数的自变量的第一取值区间、所述距离刚度函数的自变量的第二取值区间和所述距离刚度函数的自变量的第三取值区间依次连续。
- 13、根据权利要求12所述的方法，其中，所述距离刚度函数的自变量为所述当前位置在第一预设区域内相对于预设路径的距离当量，所述距离当量的第一取值区间的范围包括 $0\sim 2/3$ ；所述距离当量的第二取值区间的范围包括 $2/3\sim 5/6$ ；所述距离当量的第三取值区间的范围包括 $5/6\sim 1$ 。
- 14、根据权利要求1所述的方法，其中，所述基于所述位置信息向操作者提供第一反馈信息包括：
基于所述位置信息向所述操作者施加第一反馈力矩。
- 15、根据权利要求14所述的方法，其中，所述第一反馈力矩基于所述位置信息非线性变化。
- 16、根据权利要求15所述的方法，其中，所述基于所述位置信息向所述操作者施加第一反馈力矩包括：
获取所述末端工具的当前角度和当前角度刚度，基于所述当前角度和所述角度刚度确定所述第一反馈力矩；
基于所述末端工具的运动方向向所述操作者施加所述第一反馈力矩。
- 17、根据权利要求16所述的方法，其中，所述当前角度刚度与所述当前角度具有对应关系。
- 18、根据权利要求17所述的方法，其中，所述当前角度刚度基于角度刚度函数确定。
- 19、根据权利要求18所述的方法，其中，所述角度刚度函数连续。
- 20、根据权利要求19所述的方法，其中，所述角度刚度函数的导数不小于第三预设值。
- 21、根据权利要求19所述的方法，其中，所述角度刚度函数包括一个一阶导数不连续点。
- 22、根据权利要求19所述的方法，其中，所述角度刚度函数包括两个二阶导数不连续点。
- 23、根据权利要求19所述的方法，其中，在所述角度刚度函数的自变量的第一取值区间，至少超过一半的区间范围内所述角度刚度函数的一阶导数不大于第四预设值；在所述角度刚度函数的自变量的第二取值区间，至少超过一半的区间范围内所述角度刚度函数的一阶导数大于第四预设值；在所述角度刚度函数的自变量的第三取值区间，至少超过一半的区间范围内所述角度刚度函数的一阶导数不大于第四预设值。
- 24、根据权利要求23所述的方法，其中，所述角度刚度函数的自变量的第一取值区间、所述角度刚度函数的自变量的第二取值区间和所述角度刚度函数的自变量的第三取值区间依次连续。
- 25、根据权利要求24所述的方法，其中，所述角度刚度函数的自变量为所述当前角度在第一预

设区域内相对于预设路径的角度当量, 所述角度当量的第一取值区间的范围包括 $0\sim 2/3$; 所述角度当量的第二取值区间的范围包括 $2/3\sim 5/6$; 所述角度当量的第三取值区间的范围包括 $5/6\sim 1$ 。

26、根据权利要求 1~25 任一项所述的方法, 其中, 所述基于所述位置信息向操作者提供第一反馈信息包括:

当所述末端工具位于第一预设区域时, 基于所述位置信息向所述操作者提供第一反馈信息。

27、根据权利要求 26 所述的方法, 其中, 第一预设区域的顶端为所述末端工具在所述对象上的目标位置, 所述目标位置跟随所述对象运动。

28、根据权利要求 26 所述的方法, 其中, 所述第一预设区域包括锥形区域。

29、根据权利要求 28 所述的方法, 其中, 所述锥形区域的锥角的角度范围为 $20^\circ\sim 40^\circ$ 。

30、根据权利要求 28 所述的方法, 其中, 所述锥形区域的高度范围为 $100\text{mm}\sim 300\text{mm}$ 。

31、根据权利要求 26 所述的方法, 其中, 所述方法还包括:

在所述第一预设区域, 当所述末端工具运动时, 使所述末端工具向操作者提供第二反馈信息。

32、根据权利要求 31 所述的方法, 其中, 所述第二反馈信息包括第二反馈力; 所述当所述末端工具运动时, 使所述末端工具向操作者提供第二反馈信息, 包括:

获取所述末端工具的当前速度和当前阻尼;

基于所述当前速度和所述当前阻尼确定所述第二反馈力。

33、根据权利要求 32 所述的方法, 其中, 所述末端工具的允许速度不超过预设速度。

34、根据权利要求 32 所述的方法, 其中, 所述当前速度和当前阻尼具有对应关系。

35、根据权利要求 34 所述的方法, 其中, 所述当前阻尼基于阻尼函数确定。

36、根据权利要求 34 所述的方法, 其中, 所述阻尼函数在超过一半的自变量取值区间内连续。

37、根据权利要求 36 所述的方法, 其中, 所述阻尼函数的导数不小于第五预设值。

38、根据权利要求 36 所述的方法, 其中, 所述阻尼函数包括一个一阶导数不连续点。

39、根据权利要求 36 所述的方法, 其中, 所述阻尼函数包括两个二阶导数不连续点。

40、根据权利要求 36 所述的方法, 其中, 在所述阻尼函数的自变量的第一取值区间, 至少超过一半的区间范围内所述阻尼函数的一阶导数不大于第六预设值; 在所述阻尼函数的自变量的第二取值区间, 至少超过一半的区间范围内所述阻尼函数的一阶导数大于第六预设值; 在所述阻尼函数的自变量的第三取值区间, 至少超过一半的区间范围内所述阻尼函数的一阶导数不大于第六预设值。

41、根据权利要求 40 所述的方法, 其中, 所述阻尼函数的自变量的第一取值区间、所述阻尼函数的自变量的第二取值区间和所述阻尼函数的自变量的第三取值区间依次连续。

42、根据权利要求 31 所述的方法, 其中, 所述第二反馈信息包括第二反馈力矩; 所述当所述末端工具运动时, 使所述末端工具向操作者提供第二反馈信息, 包括:

获取所述末端工具的当前角速度以及与所述当前角速度对应的当前旋转阻尼;

基于所述当前角速度和所述当前旋转阻尼确定所述第二反馈力矩。

43、根据权利要求 31 所述的方法, 其中, 所述第二反馈信息基于所述对象的生物特征确定。

44、根据权利要求 26 所述的方法, 其中, 所述方法还包括:

当所述末端工具不满足预设条件时, 输出警示信息。

45、根据权利要求 44 所述的方法, 其中, 所述当所述末端工具不满足预设条件时, 输出警示信息, 包括:

当所述末端工具未按照所述预设路径脱离所述第一预设区域时, 输出所述警示信息。

46、根据权利要求 44 所述的方法, 其中, 所述当所述末端工具不满足预设条件时, 输出警示信息, 包括:

当所述末端工具受到的力或力矩大于预设阈值时, 输出所述警示信息。

47、根据权利要求 46 所述的方法, 其中, 所述末端工具包括六维力传感器, 所述六维力传感器用于检测所述末端工具受到的力和/或力矩。

48、根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 当检测到所述对象运动时, 所述方法还包括:

获取所述末端工具的第一初始位姿和所述对象的位姿偏移量;

基于所述第一初始位姿和所述位姿偏移量, 确定所述末端工具的目标位姿偏移量;

基于所述目标位姿偏移量调整所述末端工具至目标位姿, 以控制所述末端工具主动跟随所述对象运动。

49、根据权利要求 48 所述的方法, 其中, 所述方法还包括:

获取所述末端工具与参考坐标系的第一位姿对应关系;

所述基于所述目标位姿偏移量调整所述末端工具至目标位姿，包括：

基于所述第一位姿对应关系和所述目标位姿偏移量确定所述目标位姿。

50、根据权利要求 48 所述的方法，其中，所述方法还包括：

获取所述对象的第二初始位姿和所述对象的当前位姿；

基于所述第二初始位姿和所述当前位姿确定所述对象的所述位姿偏移量。

51、根据权利要求 50 所述的方法，其中，所述基于所述第一初始位姿和所述位姿偏移量，确定所述末端工具的目标位姿偏移量，包括：

基于所述第一初始位姿和所述第二初始位姿确定所述对象与所述末端工具的第二位姿对应关系；

基于所述位姿偏移量和所述第二位姿对应关系，确定所述目标位姿偏移量。

52、根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述末端工具包括髌臼杯，所述对象包括髌臼窝；所述方法还包括：

检测所述髌臼杯的位姿是否满足第一预设条件；

响应于是，校准所述髌臼杯。

53、根据权利要求 52 所述的方法，其中，所述校准所述髌臼杯包括：

当所述髌臼杯的受力大于阈值时，检测所述髌臼杯的受力方向；

当所述髌臼杯的受力方向与所述髌臼窝的轴线不平行时，执行第一操作；

当所述髌臼杯的受力方向与所述髌臼窝的轴线平行时，执行第二操作。

54、根据权利要求 53 所述的方法，其中，所述第一操作包括：

调整所述髌臼杯的轴线方向，使得所述髌臼杯的轴线与所述髌臼窝的轴线平行；

当所述髌臼杯的轴线与所述髌臼窝的轴线之间的距离大于阈值时，控制所述髌臼杯朝向所述髌臼窝的轴线方向运动，直至所述髌臼杯的轴线与所述髌臼窝的轴线重合或大致重合。

55、根据权利要求 54 所述的方法，其中，所述方法还包括：

若所述髌臼杯朝向所述髌臼窝的轴线方向运动过程中受到阻挡力，则执行所述第二操作；

若所述髌臼杯朝向所述髌臼窝的轴线方向运动过程中未受到阻挡力，则在所述髌臼杯的轴线与所述髌臼窝的轴线重合或大致重合时，完成校准。

56、根据权利要求 53~55 任一项所述的方法，其中，所述第二操作包括：

控制所述髌臼杯沿平行于所述髌臼窝的轴线方向背离所述髌臼窝运动；

当所述髌臼杯的受力不大于阈值时，控制所述髌臼杯朝向所述髌臼窝的轴线方向运动，直至所述髌臼杯的轴线与所述髌臼窝的轴线重合或大致重合。

57、根据权利要求 53 所述的方法，其中，所述第二操作还包括：

当所述髌臼杯的受力不大于阈值时，控制所述髌臼杯朝向所述髌臼窝的轴线方向运动，直至所述髌臼杯的轴线与所述髌臼窝的轴线重合或大致重合。

58、一种手术机器人，包括：

机械臂装置，用于控制末端工具运动；

定位装置，用于获取所述末端工具的第一位姿信息以及对象的第二位姿信息；

处理器，被配置为：

获取末端工具的第一位姿信息；

基于所述第一位姿信息向操作者提供第一反馈信息。

59、根据权利要求 58 所述的手术机器人，其中，所述机械臂装置包括基座和臂组件；所述定位装置包括定位信息获取结构和标记物，所述标记物包括设置于所述基座上的第一标记物和设置于所述对象上的第三标记物。

60、根据权利要求 59 所述的手术机器人，其中，所述定位装置还包括用于指示所述末端工具位姿的第二标记物。

61、根据权利要求 59 所述的手术机器人，其中，所述标记物包括光学阵列、电子定位器、电磁定位器、GPS 定位器、陀螺仪、加速度传感器中的至少一种。

62、根据权利要求 58 所述的手术机器人，其中，所述末端工具包括髌臼锉或髌臼杯。

63、一种末端工具运动引导方法，包括：

检测末端工具的当前位置，若末端工具的当前位置未在约束空间的预设路径上，则确定所述末端工具的当前位置对应的子约束空间以及该子约束空间对应的距离刚度函数，其中，所述约束空间的中心轴为所述末端工具的预设路径，所述约束空间包括嵌套在一起的至少两个子约束空间；

根据所述当前位置以及所述当前位置对应的距离刚度函数，向所述末端工具输出朝向所述预设路径的第一反馈力。

64、一种手术机器人，包括：

机械臂装置，用于在外力作用下带动末端工具运动，以及向所述末端工具输出反馈力；

定位装置，用于获取末端工具在约束空间中的当前位置，所述约束空间的中心轴为所述末端工具的预设路径，所述约束空间包括嵌套在一起的至少两个子约束空间；

处理器，用于通过所述定位装置检测末端工具的当前位置，若所述末端工具的当前位置未在所述约束空间的预设路径上，确定所述末端工具的当前位置对应的子约束空间以及该子约束空间对应的距离刚度函数；根据所述当前位置以及所述当前位置对应的距离刚度函数，通过所述机械臂向所述末端工具输出朝向所述预设路径的第一反馈力。

65、一种末端工具位姿的实时修正方法，包括：

获取末端工具与参考坐标系的第一位姿对应关系，以及所述末端工具与所述对象的第二位姿对应关系；

检测到所述对象的位姿发生变化时，获取对象位姿偏移量，其中，所述对象的位姿偏移量为所述对象的当前位姿相对于所述对象的初始位姿的偏移量；

根据所述第一位姿对应关系和所述对象位姿偏移量控制所述末端工具运动，使所述末端工具与所述对象的位姿对应关系恢复至所述第二位姿对应关系。

66、一种手术机器人，包括：

第一姿态获取装置，设置于对象上并与对象保持固定的对应关系，用于获取所述对象的位姿；

第二姿态获取装置，设置于用于携带末端工具运动的机械臂或末端工具上，用于获取所述末端工具的位姿；

控制器，用于获取末端工具与参考坐标系的第一位姿对应关系，以及所述末端工具与所述对象的第二位姿对应关系；在检测到所述对象的位姿发生变化时，获取对象位姿偏移量；根据所述第一位姿对应关系和所述对象位姿偏移量控制所述末端工具运动，使所述末端工具与所述对象的位姿对应关系恢复至所述第二位姿对应关系。

67、一种自动调整髌臼杯位姿的方法，包括：

S1、控制髌臼杯从当前位置向预设打杯处运动，并实时检测位姿调整信号，以及在检测到位姿调整信号时，获取所述髌臼杯的当前位姿信息与对象的髌臼窝的当前位姿信息，所述预设打杯处位于所述髌臼窝中；

S2、根据所述髌臼杯的当前位姿信息和所述髌臼窝的当前位姿信息调整所述髌臼杯的位姿，以使所述髌臼杯的中心轴与所述髌臼窝的中心轴重合；

S3、如果位姿调整后的髌臼杯未处于所述预设打杯处，则重复执行上述 S1 和 S2。

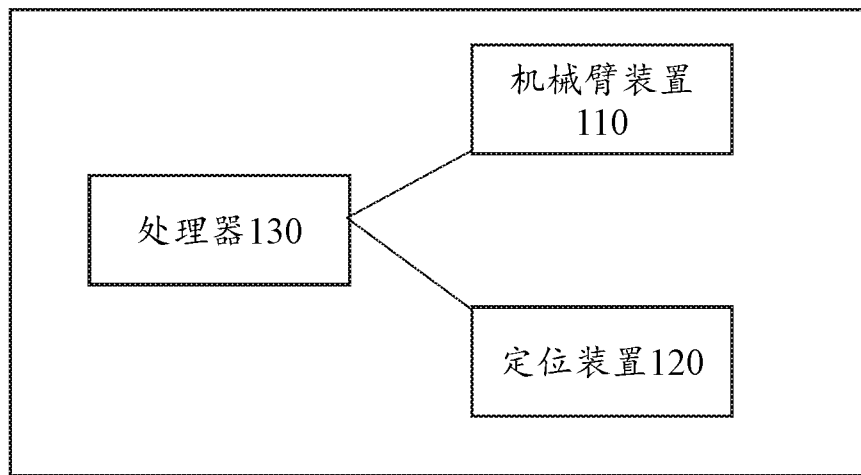
68、一种手术机器人，包括：

运动模块，包括机械臂，用于带动髌臼杯运动；

位姿获取模块，包括髌臼杯位姿单元和髌臼窝位姿单元，用于通过所述髌臼杯位姿单元实时获取髌臼杯的当前位姿信息以及通过所述髌臼窝位姿单元实时获取对象的髌臼窝的当前位姿信息；

控制器，用于根据所述髌臼杯的当前位姿信息和所述髌臼窝的当前位姿信息，调整所述髌臼杯的位姿，以使所述髌臼杯的中心轴与所述髌臼窝的中心轴重合。

100



200

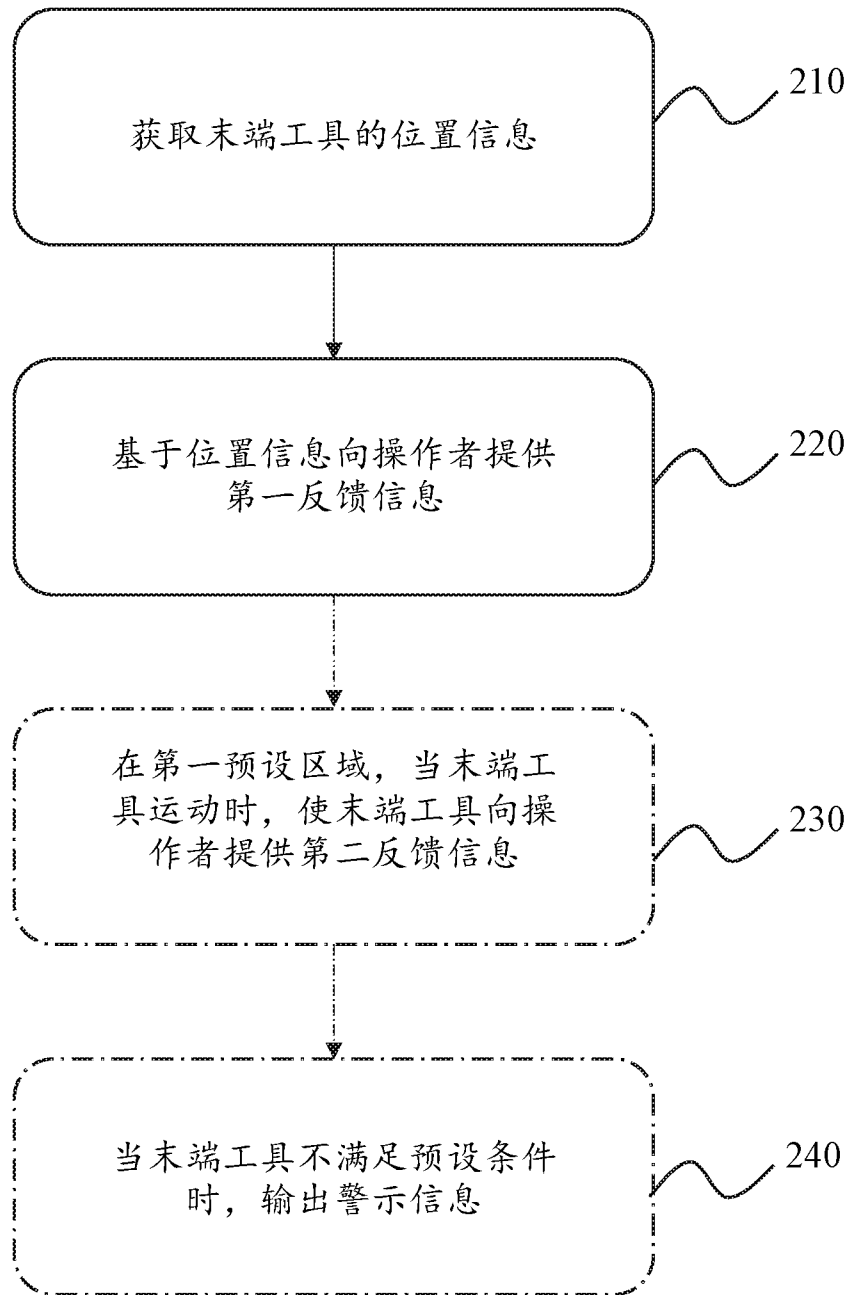


图 2

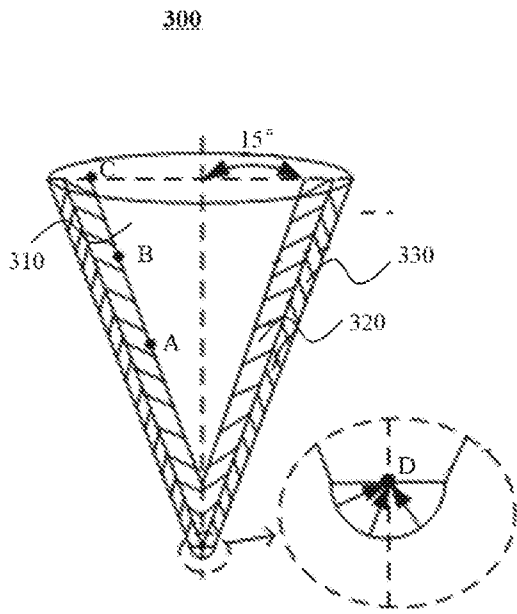


图 3

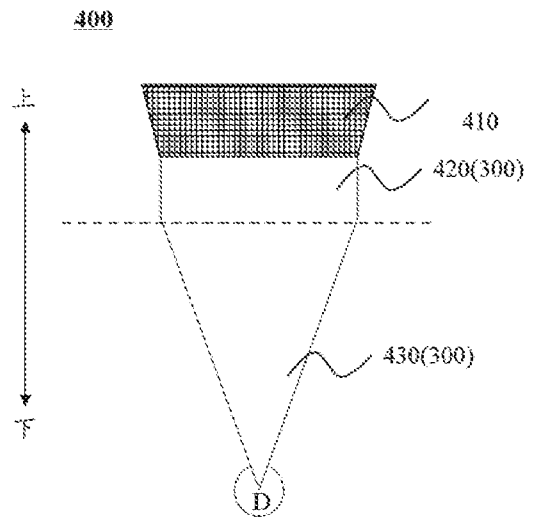


图 4

500

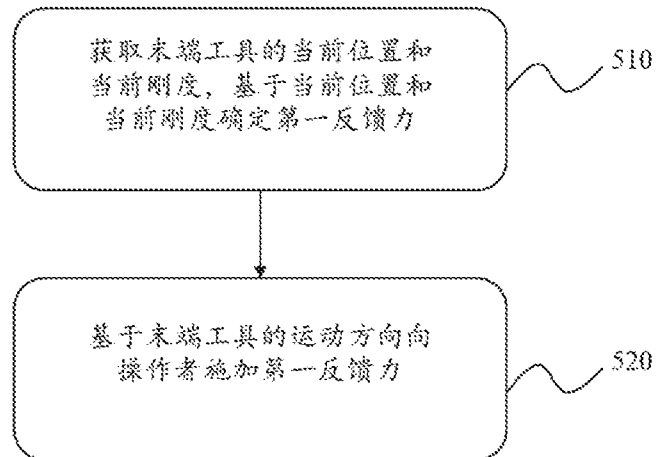


图 5

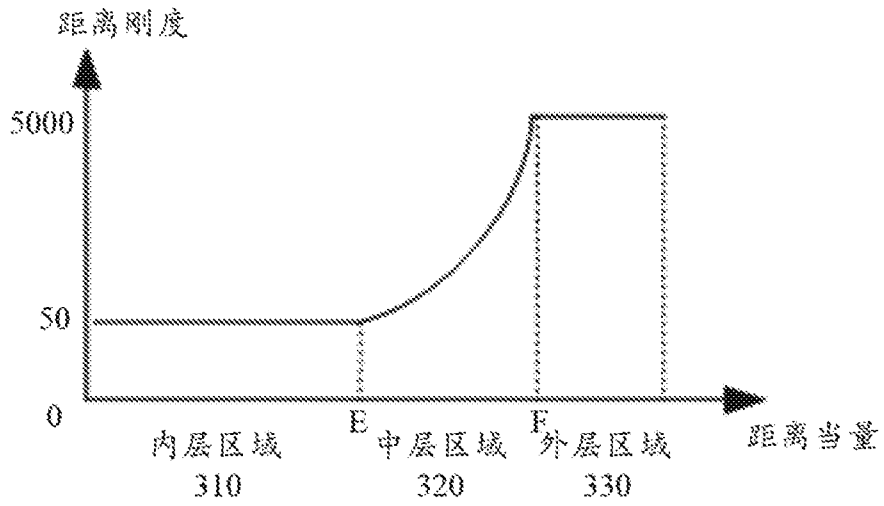


图 6

700

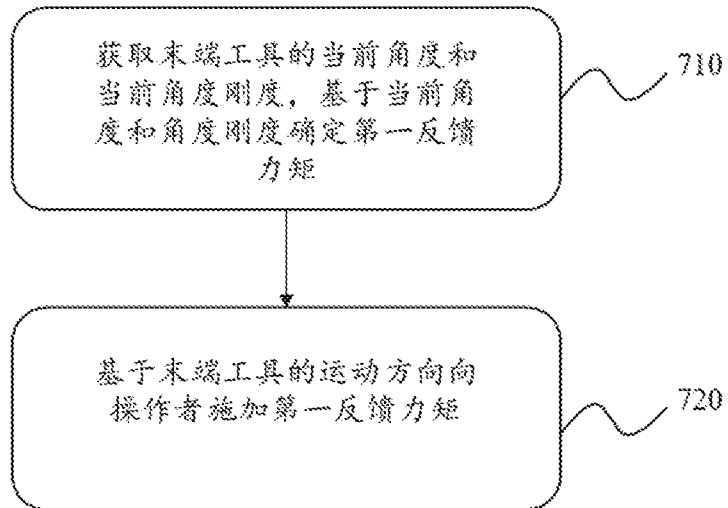


图 7

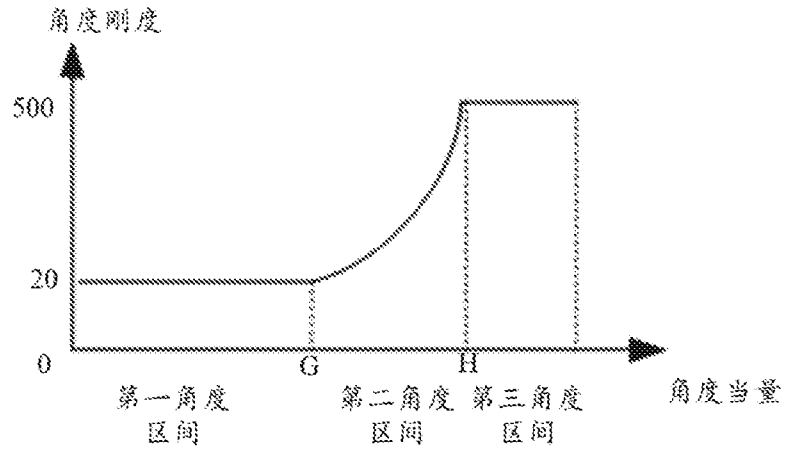


图 8

900

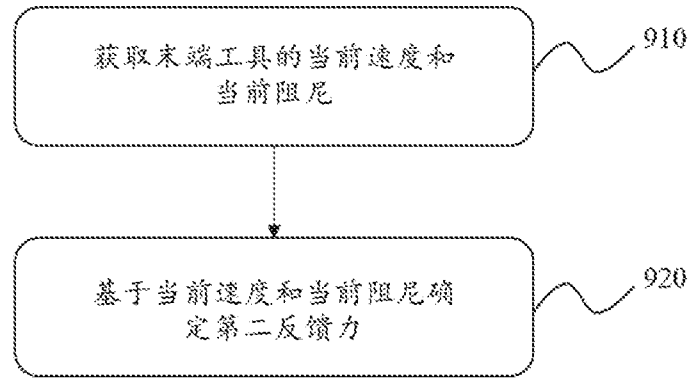


图 9

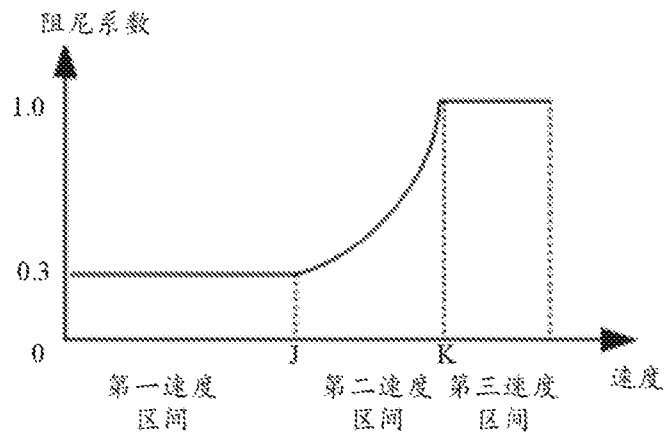


图 10

1100

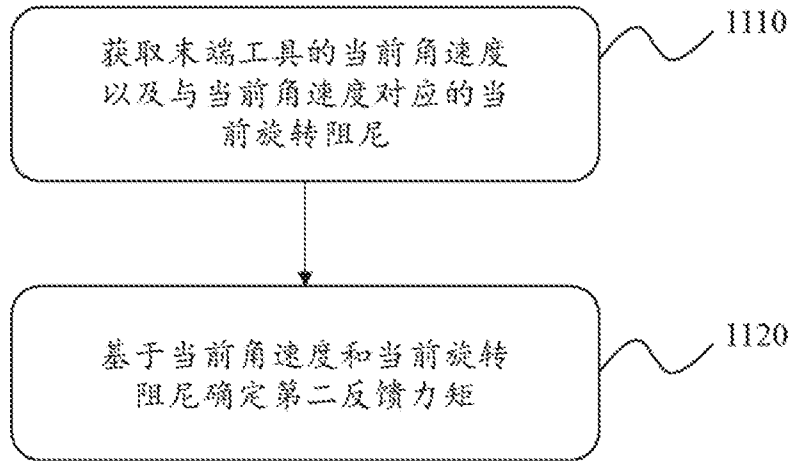


图 11

1200

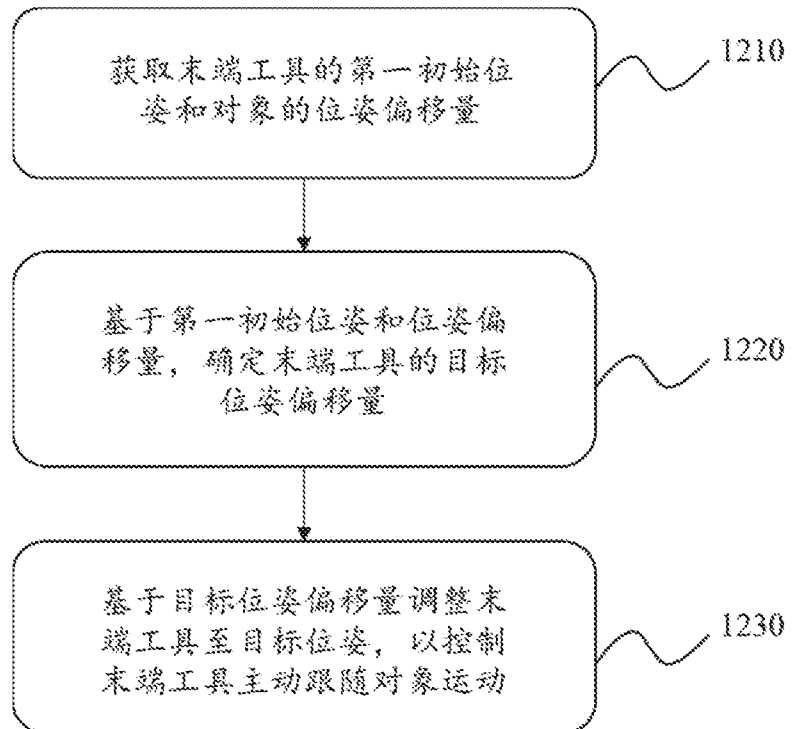


图 12

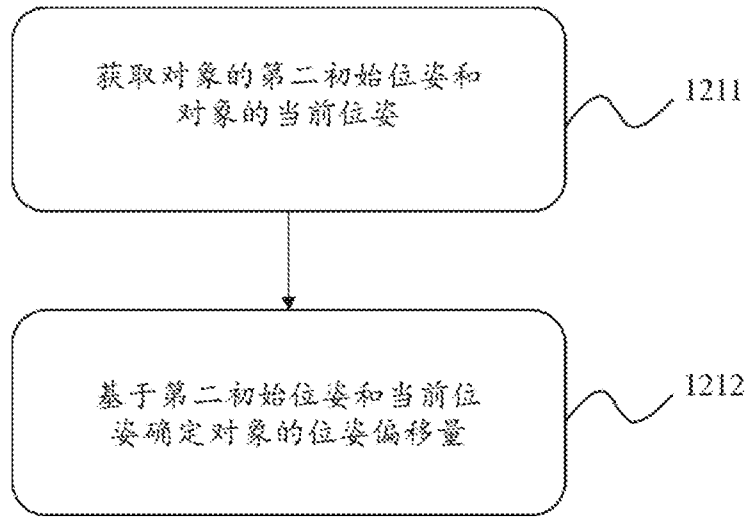


图 13

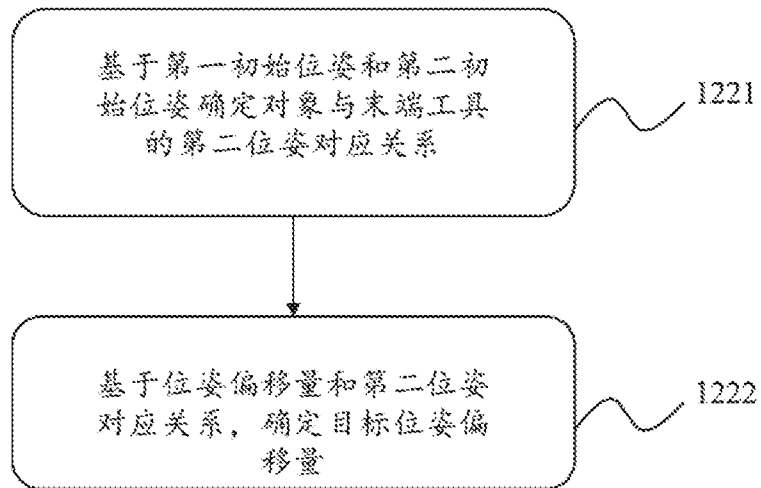


图 14

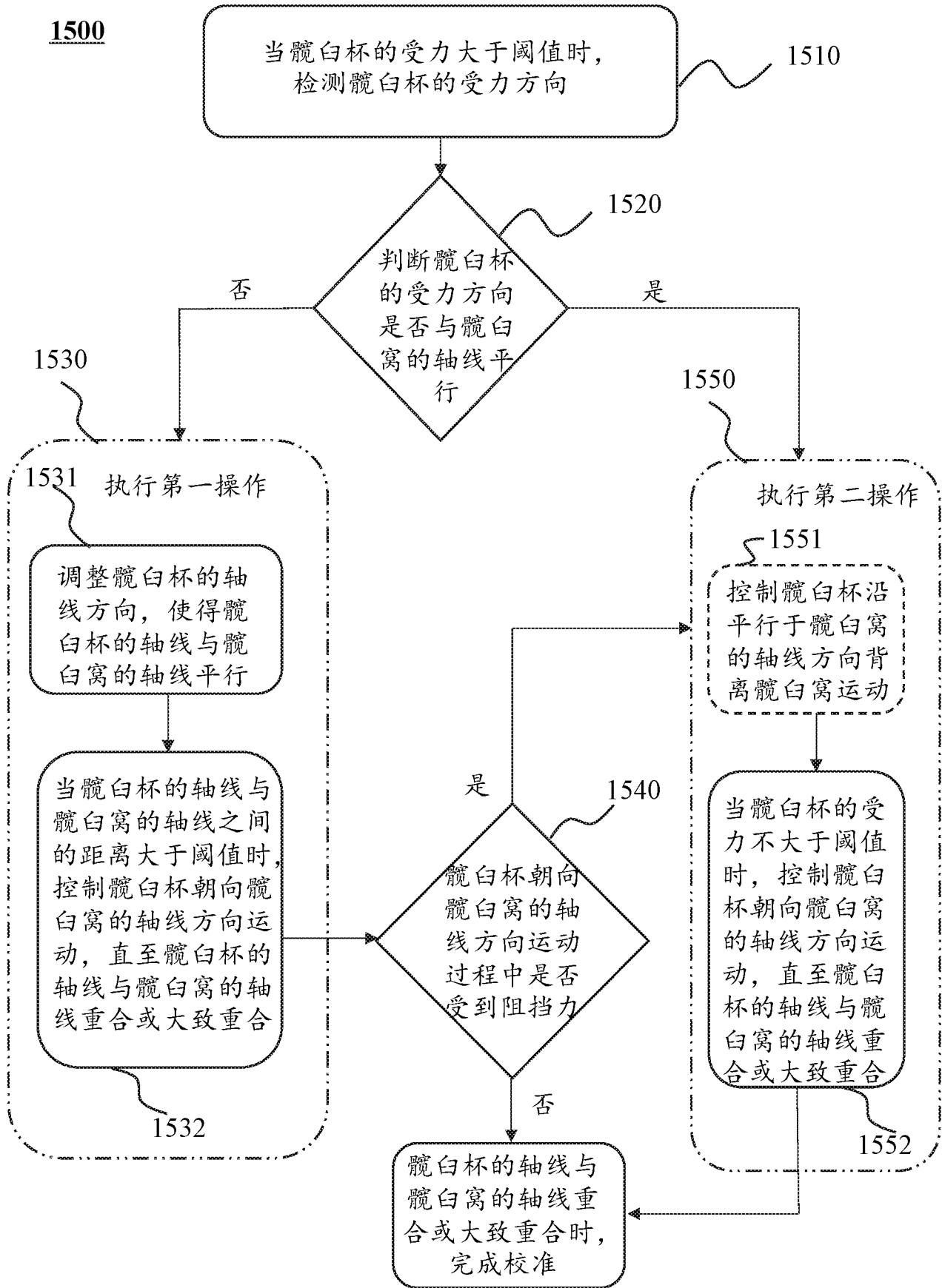


图 15

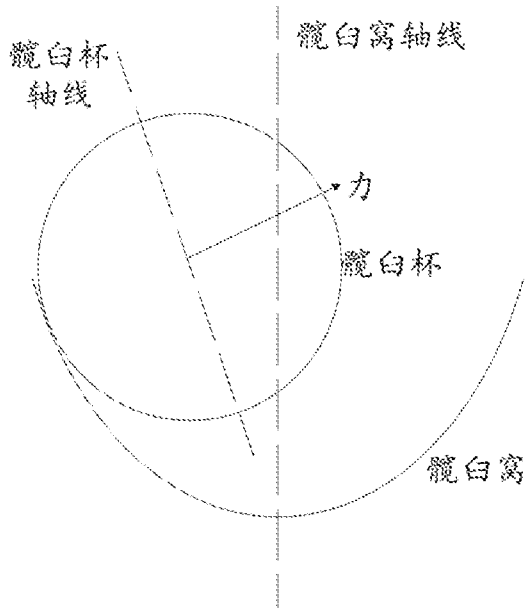


图 16

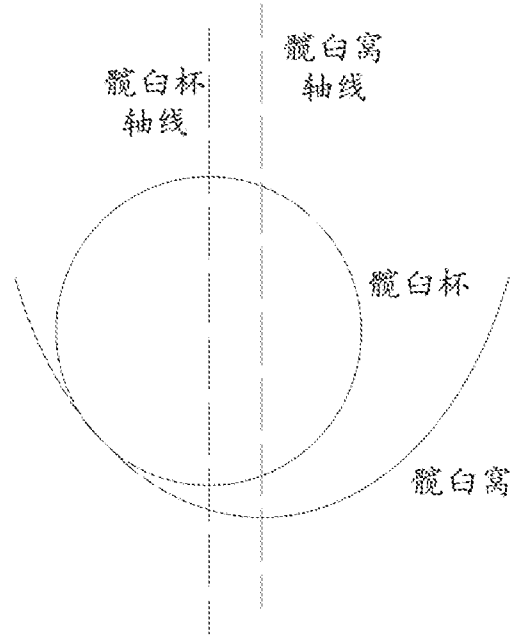


图 17

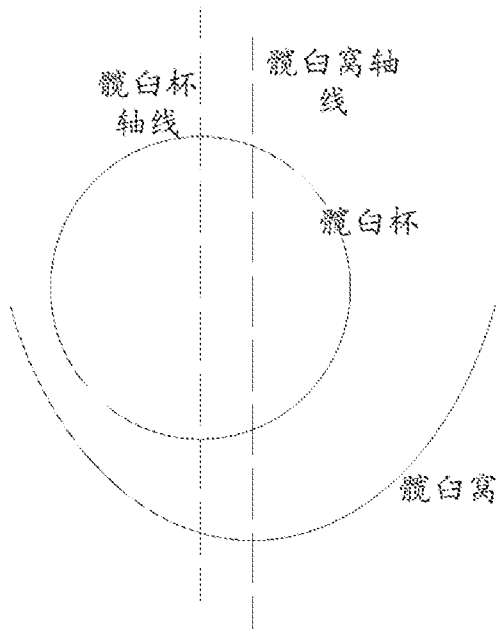


图 18

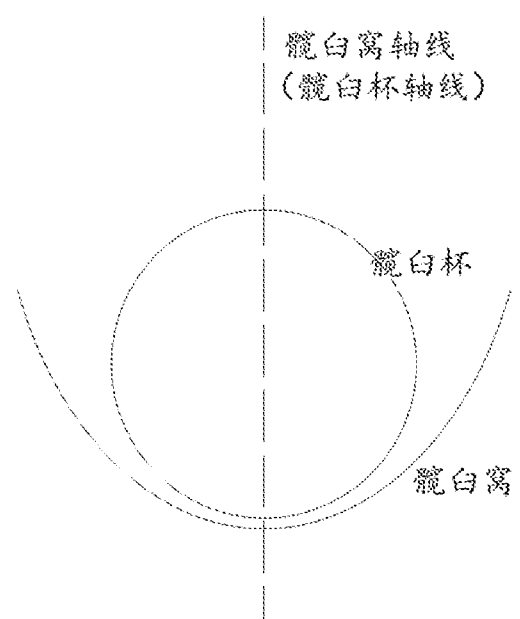


图 19

2000

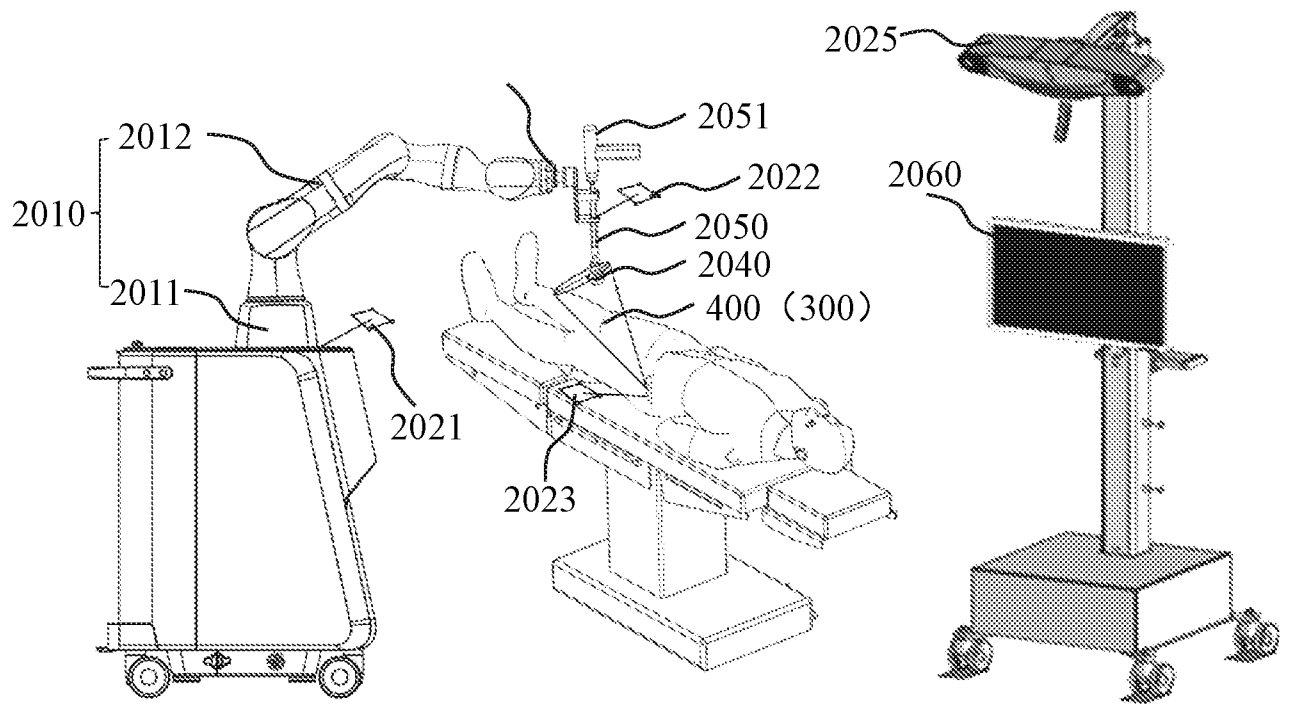


图 20

2100

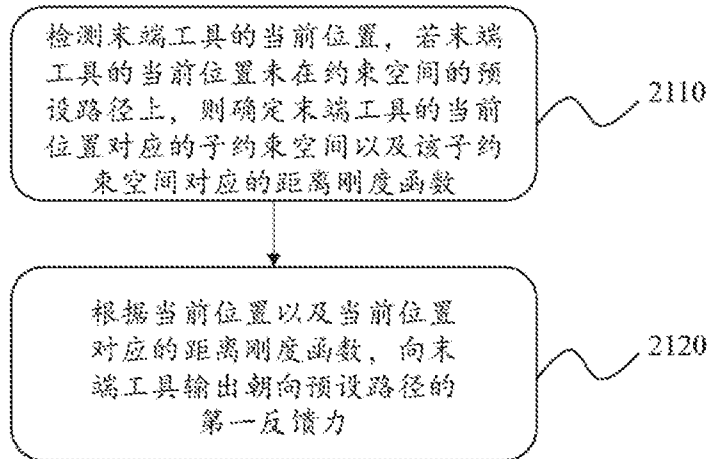


图 21

2200

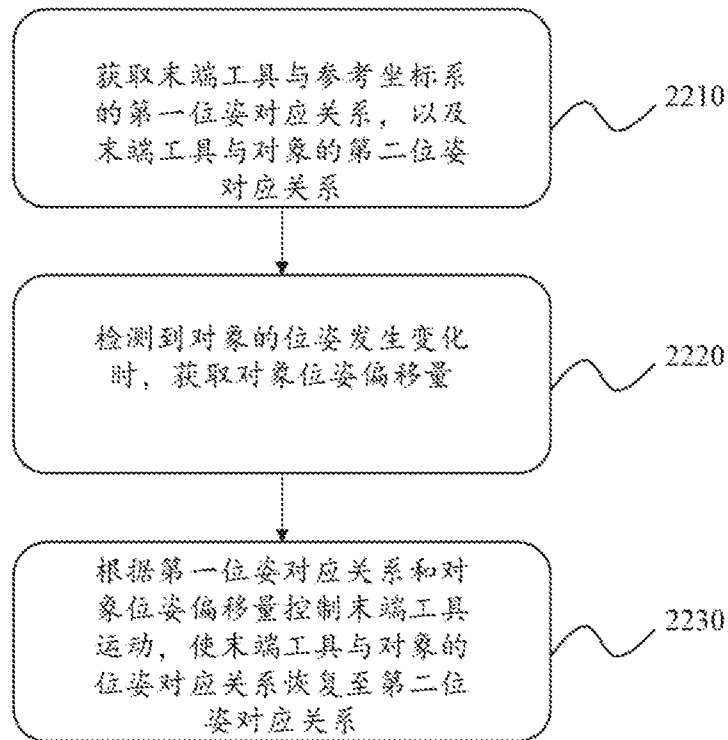


图 22

2300

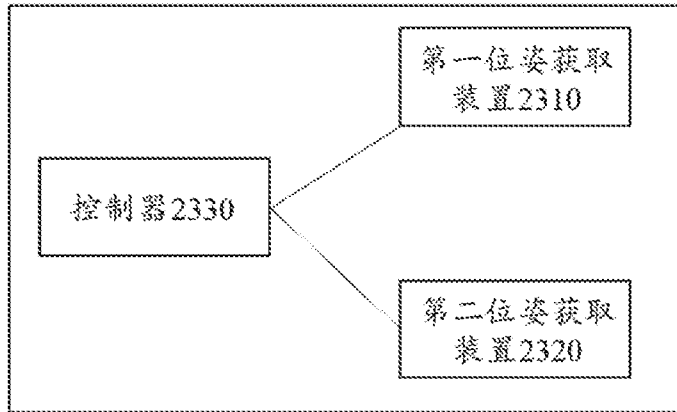


图 23

2400

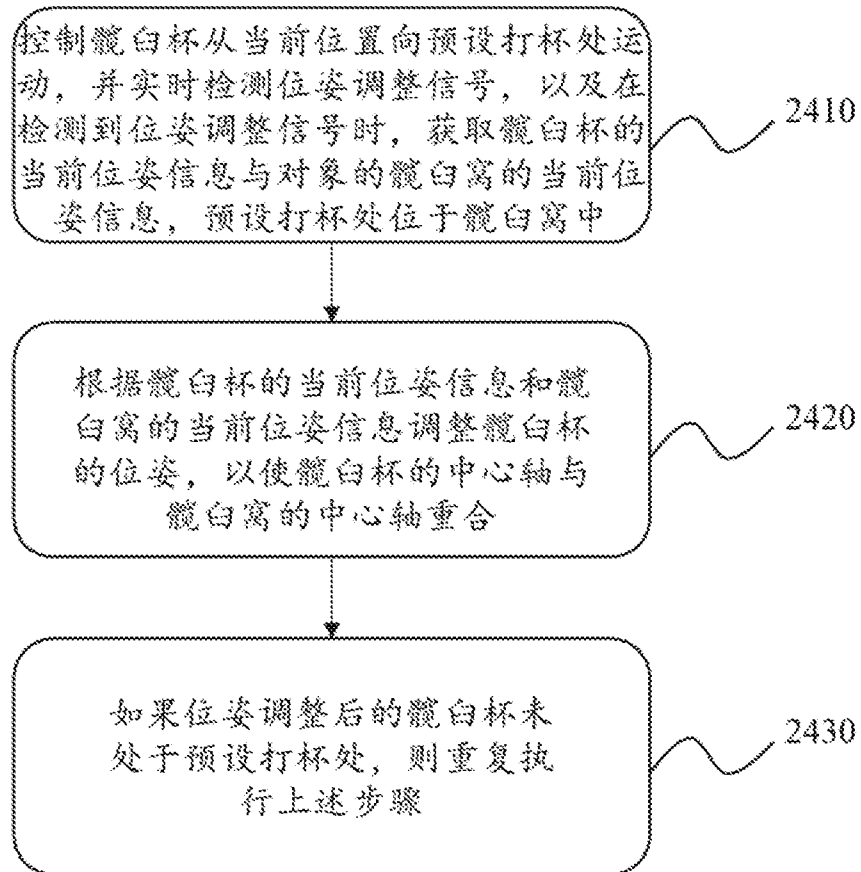


图 24

2500

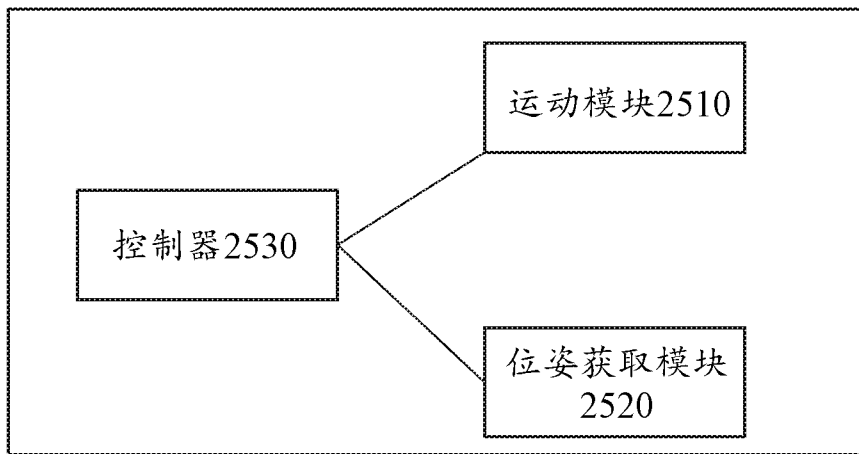


图 25

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/104671

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
A61B 34/30(2016.01)j		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
A61B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 手术, 机器人, 位姿, 位置, 反馈, 力, 力矩, 非线性, 连续, 刚度, 距离, 函数, 导, 角度, 区域, 运动, 定位, 速度, 阻尼, 旋转, 角速度, 警, 偏移, 末端, 标记, 臂, surgical, robotic, pose, position, feedback, force, moment, non-linear, continuous, stiffness, distance, function, guidance, angle, region, motion, speed, damping, rotation, angular, velocity, alarm, offset, tip, marker, arm		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 113509270 A (WUHAN UNITED IMAGING ZHIRONG MEDICAL TECHNOLOGY CO., LTD.) 19 October 2021 (2021-10-19) claims 1-13, and description, paragraphs [0027]-[0154], and figures 1-11	1-6, 15-19, 26-35, 42-47, 58-62
PX	CN 113520601 A (WUHAN UNITED IMAGING ZHIRONG MEDICAL TECHNOLOGY CO., LTD.) 22 October 2021 (2021-10-22) claims 1-10, and description, paragraphs [0024]-[0102], and figures 1-6	48-51
X	CN 101160104 A (MAKO SURGICAL CORP.) 09 April 2008 (2008-04-09) description, page 9, last paragraph to page 82, paragraph 1, and figures 1-52B	1-51, 58-62
A	US 2005182320 A1 (STIFTER, J. et al.) 18 August 2005 (2005-08-18) entire document	1-51, 58-62
A	CN 112809686 A (HANGZHOU LIUYEDAO ROBOT CO., LTD.) 18 May 2021 (2021-05-18) entire document	1-51, 58-62
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
15 September 2022		26 September 2022
Name and mailing address of the ISA/CN		Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China		
Facsimile No. (86-10)62019451		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/104671

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2021015634 A1 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MICHIGAN) 21 January 2021 (2021-01-21) entire document	1-51, 58-62
A	CN 113069207 A (HANGZHOU JIANJIA ROBOTS CO., LTD.) 06 July 2021 (2021-07-06) entire document	1-51, 58-62
A	CN 111870348 A (WUHAN UNITED IMAGING ZHIRONG MEDICAL TECHNOLOGY CO., LTD.) 03 November 2020 (2020-11-03) entire document	1-51, 58-62

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.: **52-57**
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
 - [1] Claims 52-57 set forth a method for controlling a surgical robot, comprising calibrating an acetabular cup such that the axis of the acetabular cup coincides with or substantially coincides with the axis of an acetabular fossa. The method is used for hip replacement surgery, and belongs to a method for treating a human or animal body by surgery or therapy. Therefore, claims 52-57 belong to the subject matter defined in PCT Rule 39.1(iv) that does not warrant a search conducted by the international searching authority.
2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

- [1] (1) Independent claims 1 and 58: a method for controlling a surgical robot, and a surgical robot, relating to feeding back information by means of a pose of an end tool.
- [2] (2) Independent claims 63 and 64: an end tool movement guide method and a surgical robot, relating to a constraint space, a preset path, and a distance stiffness function feedback force.
- [3] (3) Independent claims 65 and 66: a real-time correction method for an end tool pose, and a surgical robot, relating to controlling the movement of the surgical robot by means of a pose offset of an end tool.
- [4] (4) Independent claims 67 and 68: a method for automatically adjusting a pose of an acetabular cup and a surgical robot, relating to adjusting a pose of the acetabular cup.
- [5] Every two of independent claims (1, 58), (63, 64), (65, 66), and (67, 68) do not share a corresponding special technical feature. That is, every two of the described four inventions are not technically linked. The four inventions do not have a same inventive concept, and therefore do not comply with PCT Rule 13.1.

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: **1-62**

- Remark on Protest**
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
 - The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
 - No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/104671

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	113509270	A	19 October 2021	None	
CN	113520601	A	22 October 2021	None	
CN	101160104	A	09 April 2008	WO	2006091494 A1 31 August 2006
				EP	1871267 A1 02 January 2008
				EP	3470040 A1 17 April 2019
				CA	2826925 A1 31 August 2006
				JP	2008538184 A 16 October 2008
				CA	2598627 A1 31 August 2006
US	2005182320	A1	18 August 2005	WO	03096920 A1 27 November 2003
				DE	50310543 D1 06 November 2008
				EP	1507488 A1 23 February 2005
				JP	2005525868 A 02 September 2005
				AU	2003215562 A1 02 December 2003
				AT	409006 T 15 October 2008
CN	112809686	A	18 May 2021	None	
US	2021015634	A1	21 January 2021	WO	2019191722 A1 03 October 2019
CN	113069207	A	06 July 2021	None	
CN	111870348	A	03 November 2020	None	

<p>A. 主题的分类</p> <p>A61B 34/30 (2016.01) i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>																										
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>A61B</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))</p> <p>CNKI, CNPAT, WPI, EP0DOC: 手术, 机器人, 位姿, 位置, 反馈, 力, 力矩, 非线性, 连续, 刚度, 距离, 函数, 导, 角度, 区域, 运动, 定位, 速度, 阻尼, 旋转, 角速度, 警, 偏移, 末端, 标记, 臂, surgical, robotic, pose, position, feedback, force, moment, non-linear, continuous, stiffness, distance, function, guidance, angle, region, motion, speed, damping, rotation, angular, velocity, alarm, offset, tip, marker, arm</p>																										
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 113509270 A (武汉联影智融医疗科技有限公司) 2021年10月19日 (2021 - 10 - 19) 权利要求1-13, 说明书第[0027]-[0154]段, 图1-11</td> <td>1-6, 15-19, 26-35, 42-47, 58-62</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 113520601 A (武汉联影智融医疗科技有限公司) 2021年10月22日 (2021 - 10 - 22) 权利要求1-10, 说明书第[0024]-[0102]段, 图1-6</td> <td>48-51</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 101160104 A (马科外科公司) 2008年4月9日 (2008 - 04 - 09) 说明书第9页最后一段至第82页第1段, 图1-52B</td> <td>1-51, 58-62</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2005182320 A1 (STIFTER, Jan 等) 2005年8月18日 (2005 - 08 - 18) 全文</td> <td>1-51, 58-62</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 112809686 A (杭州柳叶刀机器人有限公司) 2021年5月18日 (2021 - 05 - 18) 全文</td> <td>1-51, 58-62</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2021015634 A1 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MICHIGAN) 2021年1月21日 (2021 - 01 - 21) 全文</td> <td>1-51, 58-62</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 113069207 A (杭州键嘉机器人有限公司) 2021年7月6日 (2021 - 07 - 06) 全文</td> <td>1-51, 58-62</td> </tr> </tbody> </table>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 113509270 A (武汉联影智融医疗科技有限公司) 2021年10月19日 (2021 - 10 - 19) 权利要求1-13, 说明书第[0027]-[0154]段, 图1-11	1-6, 15-19, 26-35, 42-47, 58-62	PX	CN 113520601 A (武汉联影智融医疗科技有限公司) 2021年10月22日 (2021 - 10 - 22) 权利要求1-10, 说明书第[0024]-[0102]段, 图1-6	48-51	X	CN 101160104 A (马科外科公司) 2008年4月9日 (2008 - 04 - 09) 说明书第9页最后一段至第82页第1段, 图1-52B	1-51, 58-62	A	US 2005182320 A1 (STIFTER, Jan 等) 2005年8月18日 (2005 - 08 - 18) 全文	1-51, 58-62	A	CN 112809686 A (杭州柳叶刀机器人有限公司) 2021年5月18日 (2021 - 05 - 18) 全文	1-51, 58-62	A	US 2021015634 A1 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MICHIGAN) 2021年1月21日 (2021 - 01 - 21) 全文	1-51, 58-62	A	CN 113069207 A (杭州键嘉机器人有限公司) 2021年7月6日 (2021 - 07 - 06) 全文	1-51, 58-62
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
PX	CN 113509270 A (武汉联影智融医疗科技有限公司) 2021年10月19日 (2021 - 10 - 19) 权利要求1-13, 说明书第[0027]-[0154]段, 图1-11	1-6, 15-19, 26-35, 42-47, 58-62																								
PX	CN 113520601 A (武汉联影智融医疗科技有限公司) 2021年10月22日 (2021 - 10 - 22) 权利要求1-10, 说明书第[0024]-[0102]段, 图1-6	48-51																								
X	CN 101160104 A (马科外科公司) 2008年4月9日 (2008 - 04 - 09) 说明书第9页最后一段至第82页第1段, 图1-52B	1-51, 58-62																								
A	US 2005182320 A1 (STIFTER, Jan 等) 2005年8月18日 (2005 - 08 - 18) 全文	1-51, 58-62																								
A	CN 112809686 A (杭州柳叶刀机器人有限公司) 2021年5月18日 (2021 - 05 - 18) 全文	1-51, 58-62																								
A	US 2021015634 A1 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MICHIGAN) 2021年1月21日 (2021 - 01 - 21) 全文	1-51, 58-62																								
A	CN 113069207 A (杭州键嘉机器人有限公司) 2021年7月6日 (2021 - 07 - 06) 全文	1-51, 58-62																								
<p><input checked="" type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <p>* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件</p>																										
<p>国际检索实际完成的日期</p> <p>2022年9月15日</p>		<p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2022年9月26日</p>																								
<p>ISA/CN的名称和邮寄地址</p> <p>中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451</p>		<p>授权官员</p> <p>姜佩杰</p> <p>电话号码 86-(10)-53962499</p>																								

C. 相关文件		
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 111870348 A (武汉联影智融医疗科技有限公司) 2020年11月3日 (2020 - 11 - 03) 全文	1-51, 58-62

第II栏 某些权利要求被认为是不能检索的意见(续第1页第2项)

根据条约第17条(2)(a), 对某些权利要求未做国际检索报告的理由如下:

1. 权利要求: 52-57
因为它们涉及不要求本单位进行检索的主题, 即:
[1] 权利要求52-57请求保护一种手术机器人控制方法, 其包含校准髌臼杯, 使得髌臼杯的轴线与髌臼窝的轴线重合或大致重合, 其用于髌关节置换手术, 属于一种处置人体或者动物体的外科手术方法或治疗方法。因此, 权利要求52-57属于PCT实施细则39.1(iv)定义的不要国际检索单位检索的主题。
2. 权利要求:
因为它们涉及国际申请中不符合规定的要求的部分, 以致不能进行任何有意义的国际检索, 具体地说:
3. 权利要求:
因为它们是从属权利要求, 并且没有按照细则6.4(a)第2句和第3句的要求撰写。

第III栏 缺乏发明单一性的意见(续第1页第3项)

本国际检索单位在该国际申请中发现多项发明, 即:

- [1] (1) 独立权利要求1, 58: 一种手术机器人控制方法、手术机器人, 涉及通过末端工具位姿反馈信息。
 - [2] (2) 独立权利要求63, 64: 一种末端工具运动引导方法、手术机器人, 涉及约束空间、预设路径、距离刚度函数反馈力。
 - [3] (3) 独立权利要求65, 66: 一种末端工具位姿的实时修正方法、手术机器人, 涉及通过末端上具位姿偏移量控制其运动。
 - [4] (4) 独立权利要求67, 68: 一种自动调整髌臼杯位姿的方法、手术机器人, 涉及髌臼杯位姿调整。
 - [5] 独立权利要求(1, 58)、(63, 64)、(65, 66)以及(67, 68)两两之间不具有相应的特定技术特征, 则上述四项发明两两之间不存在技术关联, 四项发明的发明构思不同, 因而不符合PCT细则13.1的规定。
1. 由于申请人按时缴纳了被要求缴纳的全部附加检索费, 本国际检索报告涉及全部可作检索的权利要求。
 2. 由于无需付出有理由要求附加费的劳动即能对全部可检索的权利要求进行检索, 本单位未通知缴纳任何加费。
 3. 由于申请人仅按时缴纳了部分被要求缴纳的附加检索费, 本国际检索报告仅涉及已缴费的那些权利要求, 具体地说, 是权利要求:
 4. 申请人未按时缴纳被要求缴纳的附加检索费。因此, 本国际检索报告仅涉及权利要求书中首先提及的发明; 包含该发明的权利要求是: 1-62

对异议的意见

- 申请人缴纳了附加检索费, 同时提交了异议书, 适用时, 缴纳了异议费。
- 申请人缴纳了附加检索费, 同时提交了异议书, 但未在通知书规定的时间期限内缴纳异议费。
- 缴纳附加检索费时未提交异议书。

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/104671

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	113509270	A	2021年10月19日	无			
CN	113520601	A	2021年10月22日	无			
CN	101160104	A	2008年4月9日	WO	2006091494	A1	2006年8月31日
				EP	1871267	A1	2008年1月2日
				EP	3470040	A1	2019年4月17日
				CA	2826925	A1	2006年8月31日
				JP	2008538184	A	2008年10月16日
				CA	2598627	A1	2006年8月31日
US	2005182320	A1	2005年8月18日	WO	03096920	A1	2003年11月27日
				DE	50310543	D1	2008年11月6日
				EP	1507488	A1	2005年2月23日
				JP	2005525868	A	2005年9月2日
				AU	2003215562	A1	2003年12月2日
				AT	409006	T	2008年10月15日
CN	112809686	A	2021年5月18日	无			
US	2021015634	A1	2021年1月21日	WO	2019191722	A1	2019年10月3日
CN	113069207	A	2021年7月6日	无			
CN	111870348	A	2020年11月3日	无			